الغلاف الجوى

التحدى بين الطبيعة والبشر

جون فيرور



ترجمة: أ.د. احمد مدحت اسلام

الأهرام
مركز الأهرام للترجمة والنشر

جـــون فيـــرور

الغلاف الجوى

التحدى بين الطبيعة والبشـــر

ترجمة : ا . د . أحمد مدحت اسلام

THE CHANGING ATMOSPHERE: A GLOBAL CHALLENGE by John
Firor.

الطبعـــة الأولى
١٤١٣ هـ - ١٩٩٢ م

النـاشر : مركز الأهـرام للترجمة والنشر
مؤسسـة الأهـرام - شـارع الجـلاء القاهـرة
تليفـون ٥٧٤٧٠٨٣ - تلـكس ٩٢٠٠٢ يوان

المحتويـــات

الصفحة

تقـــديـــم

ظهر هذا المجلد إلى حيز الوجود بناء على رجاء من الناشر ، بأن أقوم بتوسيع مقالة كتبتها عن مشكلات الغلاف الجوى ، عنوانها « العلاقات المتشابكة ، والأنواع الحية المعرضة للخطر ، للغلاف الجوى » (فى جورنال ٨٤ [واشنطن العاصمة : معهد الموارد العالمية ، ١٩٨٤]) . وقد ناقشت فى هذه المقالة ، القضايا « الثلاث الكبرى » للغلاف الجوى - وهى الأمطار الحمضية ، واستنفاد الأوزون ، وتسخين المناخ - وأكدت العلاقة بين هذه المشكلات الثلاث .

وعند محاولة تحويل هذه المقالة إلى كتاب ، استفدت كثيرا من الدعوات التى وجهت إلىّ للتحدث عن الغلاف الجوى ، مستخدما كل فصل من الفصول أساسا لمحاضرة . وقد سمحت لى هذه الطريقة باختبار المادة التى أقدمها ، وذلك بملاحظة رد فعل المستمعين ، وكذلك بمحاولة الإجابة عن الأسئلة التى أثيرت . وعادة ما يكون هناك عدد قليل من الناس فى كل مجموعة يهتم حقيقة بتفاصيل موضوع فنى ، ومخاطبة هؤلاء تعد مصدرا للسعادة ؛ وشرح العلاقات المتشابكة المعقدة ، وأسباب كل حدث باستخدام لغة المتعلمين من غير العلماء ، عمل يتسم بالتحدى وله عائده المجزى . ولكن السؤال الذى وجه إلىّ فى أغلب الأحوال ، لم يكن خاصا بالتفاصيل ، ولكنه كان طلبا لحكم نهائى . فقد اتضح أن أغلب الناس يقولون « كل هذا العلم شىء طيب ، ولكن قل لنا مباشرة : هل نحن معرضون للمتاعب أم لا ؟ » . وقد بدأت أشك فى

أننى يجب ألا أكتفى بإضافة بعض التفاصيل الفنية إلى مناقشات المقالة ، وأن الكتاب يجب أن يتناول هذا السؤال النهائى الذى يوجه دائما .

وقد قوى هذا الشك لدىّ عندما راجعت الكتابات العلمية الجارية عن تغيرات المناخ . وهناك بالفعل مناقشات طويلة وممتازة لكل من قضايا الغلاف الجوى هذه ، وقليل منها كتبه مؤلفون فرادى ، ولكن أغلبها كتبته لجان دولية متميزة ، اجتمعت معا لتلخيص وتقييم معلوماتنا الحالية . ومع أن اللجان أصدرت أحكاما علمية عن حالة المعرفة العلمية ، فإنها فشلت فى كثير من الأحيان فى الإجابة عن هذا السؤال « هل توجد لدينا مشكلة أم لا ؟ » . إذ يحاول العلماء ، وهم على حق ، البحث عن أسس قوية لاستنتاجهم ، ويتجنبون المضى إلى أبعد مما تمت تجربته بصورة راسخة ، وجرى التحقق منه على نحو متكرر . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن العلماء قد رأوا زملاءهم يقعون فى الخطأ فى بعض الأحيان ، ووقعوا هم فيه أحيانا ، ولهذا فهم يعودون إلى النظر إلى الآراء التى يتبناها حتى جزء صغير من المجتمع ، ويخصصون لها مكانا محترما فى تقاريرهم .

ولا أجد سببا مقنعا يجعلنى أنتقد حذر العلماء أو تشككهم ، فالتقدم العلمى يمكن أن يكون غير مؤكد ، وقد تتضح حقيقته فقط بعد بضع سنوات عندما يمكن رؤية التقدم فى سياق أكبر . والمفاجآت غير نادرة ، ومصداقية مجتمع العلماء محل تساؤل دائما ، ولهذا فعلى المدى الطويل ، يكون الحذر من الوقوع فى الخطأ أمرا مطلوبا . وفى الحقيقة فقد أدت هذه العادات التى تتضمن الحرص والتشكك ، إلى الحفاظ على الأعمال العلمية السليمة ذات القيمة فى توليد المعرفة عن العالم المحيط بنا ، وسوف تستمر على الأغلب تقارير اللجان المختارة على هذا القدر من العناية والتحفظ والحذر .

ولكن هذه العادة تعنى كذلك بالنسبة للرأى العام ، ولصانعى السياسات ، أن تقارير العلماء تؤكد أساسا ما لا نعرفه بعد ، وما يحتاج إلى مزيد من الدراسة . وسيستمر هذا التأكيد ، حتى إذا وافقت اللجان على أن هناك تغيرا ملموسا يحدث فى الغلاف الجوى . وقد نتج عن كل ذلك ، هذه الحيرة التى تنتاب الرأى العام ، والأسئلة التى تلقيتها .

وبالرغم من أن عادات الأكاديميات واللجان مألوفة لى تماما ، فإننى تحققت عندما قرأت التقارير القديمة ، وأتبعتها بالتقارير الأحدث ، أن كثيرا من المؤلفين الذين أعرفهم جيدا ، يعتنقون آراء أكثر قوة وأكثر تحديدا مما يستخرج من مجهودات اللجان التى ينضمون إليها . ومن الواضح أن بعض سمات خبراتهم ودراساتهم ، وبعض تطبيقات الأفكار العامة عن الأساليب التى يسير بها العالم ، تسمح لهم باعتناق آراء جدَّ متطورة عن حدة المشكلات فى الهواء ، بينما ينضمون فى الوقت نفسه إلى علماء آخرين لوضع تقارير تبدو للكثيرين على أنها غير ملزمة عن قصد . وقد نرى بعض هؤلاء العلماء فى بعض الأحيان يتحدثون فى التليفزيون ، أو يكتبون فى الصحف ، ومنها نعرف أنهم يعتقدون بقوة أننا نجابه حقا مشكلة عويصة تنشأ من معاملتنا للغلاف الجوى بإهمال . وعادة ما تكون هذه اللجان موجزة فى تقاريرها حتى أن الرأى العام يجد نفسه مدفوعا للبحث عن السبب فى أن هؤلاء العلماء يعتنقون مثل هذه الآراء ، أو لماذا توجد فجوة بين التقارير الرسمية والقلق غير الرسمى .

وأملى كبير فى أن يملأ هذا الكتاب هذه الفجوة . ولم يتمثل هدفى منه فقط فى أن أقدم فيه مناقشة أخرى معتنى بها عن رأى العلم حول الأمطار الحمضية أو استنفاد الأوزون ، أو تسخين المناخ ، بل فى أن أبين السبب فى أن كثيرا من العاملين فى هذا المجال قد اقتنعوا بأن

الانبعاثات فى الغلاف الجوى قد وصلت حقا إلى مستوى خطير .

ويتضمن هذا الكتاب سبعة فصول . يقدم الفصل الأول منها حقيقتين تم إغفالهما عن الغلاف الجوى ، وهما ضروريتان لفهم قلقنا اليوم . ويغطى الفصلان التاليان اثنتين من المشكلات الثلاث المعروفة للغلاف الجوى : وهما الأمطار الحمضية ، واستنفاد طبقة الأوزون بإنتاج مركبات الكلوروفلوروكربون . وتسخين المناخ الناتج من تجمع الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء فى الهواء ، يحتل بالتأكيد مركز الاهتمام من كل هذه القضايا ، حتى أننا خصصنا له الفصلين الرابع والخامس . ويناقش الفصلان الأخيران ما تعنيه هذه المشكلات بالنسبة للناس ، ولصانعى القرارات ، وللحضارة ، وما يمكن فعله حيالها .

وتبدو كل من هذه المشكلات الثلاث الشهيرة للغلاف الجوى مختلفة عن المشكلتين الأخريين : الأمطار الحمضية فى كندا وفى شمال شرق الولايات المتحدة ، والنقص فى الأوزون فوق القطب الجنوبى وغيره من الأماكن ، والتغير فى المناخ فوق الكرة الأرضية بأكملها . وعلى الرغم من أن الحلول التى تقدم عند مناقشة هذه المشكلات تبدو وكأن كلًا منها منفصل عن الآخر ، إلا أنه لابد من تناولها معا ، فمصادرها متصلة بعضها ببعض ، وكل من هذه المشكلات الثلاث مرتبط تمام الارتباط بقضايا وطنية وعالمية ، مثل إمدادات الطاقة ، وتنمية العالم الثالث ، والمساعدات الخارجية ، والمساواة بين الشمال والجنوب ، والانفجار السكانى . وإذا عزلنا هذه المشكلات الخاصة بالغلاف الجوى ، فإننا نغفل أوجها رئيسية للقضايا التى نجابهها ، ونغفل تحديد مسارات العمل المتاحة لنا ، خاصة وأن الفرصة لاتخاذ خطوات فى اتجاه حل مشكلات الغلاف الجوى والمشكلات المجتمعية فى نفس الوقت ، سمة أساسية للموقف الراهن .

كما ركزت الانتباه على مقياس زمن البشر - وهو بضعة عقود أو نحو قرن من الزمان ، مع قليل من الإشارات الضرورية إلى الأحداث السابقة . وقد بدأنا نفهم الأشياء التى حدثت عبر مئات أو آلاف أو ملايين القرون ، مثل أصل العصور الجليدية ، وأثر إزاحة القارات على المناخ ، وانقراض الديناصورات . وكل هذه الموضوعات تمثل قراءات مشوقة ، وكل منها يتصل بطريقة ما بمشكلات الغلاف الجوى اليوم . ولكن عندما نجمع بين الأحداث البطيئة والكبيرة وبين موضوع هذا الكتاب - وهو تأثير الناس على مستقبل الغلاف الجوى - فقد يؤدى ذلك إلى الخطأ . وقد تغرينا نظرة متأنية وربما سهلة التقبل ومسلية ، لمناخ يختلف كثيرا عن مناخنا فى أثناء حقب بعيدة ، بأن نفكر باندهاش ، بأنه مهما كان الذى سيحدث فى العقود القليلة القادمة ، فإنه سيحدث لأننا نقع تحت رحمة قوى كونية لا سيطرة لنا عليها . وفى الحقيقة ، نحن نقع تحت رحمة أفعالنا الشخصية ، وأهدافنا ومؤسساتنا وحكوماتنا ، وفهمنا لتأثير الأنشطة البشرية ، وطاقتنا ورغبتنا فى أن نفعل شيئا حيالها .

وأخيرا ، فإن أى استعراض للأسس العلمية للقلق بشأن الغلاف الجوى ، وبخاصة إذا خلص هذا الاستعراض ، كما فعلت أنا ، إلى أن المشكلات فى الهواء أكثر إزعاجا مما يبدو لنا من ملاحظتنا اليومية للعالم المحيط بنا ، ينبغى له أن يجابه القضية الخاصة بما إذا كنا نستطيع أن نفعل شيئا حيالها أم لا . وأحد الأسباب التى تدعو إلى استنتاج أن المشكلات أكثر خطورة مما تبدو ، هو أن جذورها تتداخل بعمق فى طبيعة الحضارة البشرية وتاريخها ، ويكفل هذا السبب أنه ليس هناك حل سهل لها . ولهذا قمت بوصف الحل من منطلق اختيار المسارات المستقبلية التى تتضمن تثبيت تركيب الغلاف الجوى ، بدلا من أن نتركه مستمرا فى التغير عشوائيا من جراء الأنشطة البشرية . وحتى قبل أن

يفحص المرء أى تنبؤات علمية تفصيلية ، يبدو واضحا أنه إذا استمر التغير فى تركيب الهواء إلى ما لا نهاية ، بمعدل يقاس ببضعة أجيال ، فإننا سنحدث فى نهاية الأمر تغييرات رئيسية فى كل شىء نفعله ، وفى كل الكائنات الحية الأخرى . وهكذا فإن البديل لتثبيت الهواء هو اتباع مسار يتضمن تأقلمنا المستمر مع التغيرات السريعة التى نقحمها على الغلاف الجوى ، وفى هذه العملية نستنبط طرقا للتعامل مع جميع الأنظمة الطبيعية .

شكــر وتقـديـر

كان لى الشرف أن أخدم ضمن هيئة المركز القومى لبحوث الغلاف الجوى ، وقد كان للاتصال الثابت بعلماء هذا المركز الآخرين ، وبالزائرين ، تأثير هام كبير على فهمى العلمى وتقديرى للنظام المعقد الذى يمثله غلافنا الجوى . ولا توفر هذه المؤسسة البحثية بيئة حافزة للتفكير والكتابة فقط ، ولكنها تشجع أعضاءها كذلك على أن ينظروا نظرة واسعة على مشكلات الغلاف الجوى . وقد نما المركز القومى لبحوث الغلاف الجوى فى الربع الأخير من هذا القرن ، واحتل مركزا رفيعا فى المؤسسة العلمية للبلاد من خلال الإشراف الذكى والمستمر لمؤسسة العلوم القومية . والمركز القومى لبحوث الغلاف الجوى تديره مجموعة من الجامعات الأمريكية الشمالية - اتحاد الجامعات لبحوث الغلاف الجوى - وقد أتاحت لى هذه العلاقة فرصا أكثر لتوسيع نظرتى عن طبيعة الغلاف الجوى ، والتحديات الكامنة فى محاولة فهم التفاعل بين الغلاف الجوى والمجتمع . وقد قامت كل هذه المنظمات بمساعدتى ، ولكن بالطبع فإن الآراء التى يتضمنها هذا الكتاب ، وأى أخطاء فيه ، يجب أن تنسب إلىّ ، وليس إلى المركز القومى لبحوث

الغلاف الجوى ، أو إلى اتحاد الجامعات لبحوث الغلاف الجوى ، أو إلى المؤسسة القومية للعلوم ، أو إلى أى من الأفراد الكرماء الذين قرأوا مدونة هذا الكتاب أو أى أجزاء منها أو علقوا عليها .

وأود ، بصفة خاصة أن أقر بدينى لوالتر أور روبرتس ، ووليم و . كيلوج ، وستيفان هـ . شنايدر ، وهم ثلاثة من الرواد المعاصرين فى مجال دراسة وفهم الكيفية التى يستجيب بها الغلاف الجوى للأنشطة البشرية ، ولمايكل هـ . جلانتز الذى يدرس كيف تتجاوب الأنشطة البشرية مع الغلاف الجوى وتغيراته . إذ تعلمت منهم الكثير ، وقد ضربوا مثالا طيبا لكيفية التفكير بوضوح والعمل بفعالية فى هذه المجالات العلمية ، رغم الاهتمام الكبير للرأى العام والصحافة وأهل السياسة .

وقد أتاحت لى خدمتى فى مجلس أمناء صندوق الدفاع عن البيئة ، وفى معهد الموارد العالمية ، فرصة الاتصال بعدد من العلماء الأفذاذ ، وكذلك علمتنى أن مهمة تحويل المعرفة العلمية المتقدمة إلى سياسة وعمل عام مناسب ، قد تكون أكثر صعوبة من صنع التقدم العلمى فى المقام الأول .

وأود كذلك أن أعرب عن الشكر على المساعدة التى قدمها لى الأشخاص الآتية أسماؤهم ، الذين تفضلوا بمساهمات نوعية وضرورية : وليم تشاندلر ، رالف سيسيرون ، كاثلين كورييز ، جوديث جيكوبسن ، أندرو سكوت ، وآن فيرور سكوت ، وقد قرأ كل منهم بعض أو كل الفصول ، وتضمن ذلك فى بعض الأحيان مسودات متتابعة ، وأدلوا ببعض التعليقات النقدية والاقتراحات النافعة . وقام بإعداد الأشكال جوستن كيتسوتاكا وأعضاء فريق الأعمال الفنية للمركز القومى لبحوث الغلاف الجوى .



الغلاف الجوى

الفصل الأول
الغلاف الجوى والناس

عرفنا ببطء ونحن أطفال أشياء عن الغلاف الجوى . فنحن نشعر به على وجوهنا وندرك أننا نتنفس شيئا . ثم لعبنا بعد ذلك بالطائرات الورقية ، وأطفأنا الشموع ورأينا نتائج الرياح المدمرة . وقد حملتنا هذه الملاحظات المبكرة على التفكير فى الهواء على أنه شىء يشبه إلى حد ما كأسا من الماء ـ وهو مادة أعطت لنا الطبيعة خصائصها وتركيبها ، وهو شىء منفصل عنا وغير متغير . وقد أضفنا بالتدريج إلى هذا الانطباع الأول إدراكنا بأننا ـ كأفراد ـ نعتمد تماما على الغلاف الجوى ، ويجب أن نحرص على ألاّ نبقى طويلا دون ملء الرئتين بالهواء النقى .

وتغفل هذه الاستنتاجات المبكرة حقيقة غالية . ونحن لا نغفلها لأننا عديمو الملاحظة ، ولكن لأننا لا نجد طريقة لملاحظة التغيرات التى تحدث ببطء وعلى مدار فترات طويلة من الزمن . والهواء فى الحقيقة ليس « شيئا منفصلا » ؛ فهو الحياة بالنسبة لنا ولجميع الكائنات الحية الأخرى . ففى كل يوم تمتص المادة الحية كميات كبيرة من الهواء وتقوم بمعالجتها بطرق مختلفة ، وفى كل يوم تنطلق كميات كبيرة من الغازات

فى الهواء من المادة الحية . وعلى مر الزمن الجيولوجى كان هناك تداخل بين تطور الحياة وتطور الغلاف الجوى ؛ فخواص هوائنا وتركيبه تعتمد على نمط أشكال الحياة على الأرض ، وكانت ستختلف تماما عما هى عليه الآن لو لم تقم الحياة ، وهى بالتأكيد مختلفة تماما عنها فى الغلاف الجوى للكواكب المجاورة لنا والخالية من الحياة مثل المريخ والزهرة .(١)

وقد تجمدت الأرض من الغاز والغبار السابح حول الشمس منذ أكثر من أربعة مليارات من السنين مضت ، وظهرت الحياة بعد ذلك بنصف مليار سنة . وقد وصل الأوكسجين - وهو مكون رئيسى وهام فى الغلاف الجوى - متأخرا ، بعد وقت طويل من ظهور الكائنات وحيدة الخلية . ويبدو أن تتابع الأحداث كان كما يلى : استعملت المادة الحية الأولى كغذاء لها ، مواد ناتجة من العمليات الجيولوجية ، ومثال ذلك الكميات الصغيرة من الهيدروجين والكميات الأكبر من كبريتيد الهيدروجين التى تصاعدت من البراكين ، وهذه المواد يمكنها أن توفر الطاقة للخلية . وبعد انقضاء زمن طويل ، نشأت عملية جديدة وهى عملية التخليق الضوئى ، التى استخدمت أحد مكونات الهواء الأكثر وفرة وهو ثانى أوكسيد الكربون ، ومصدرا وافرا للطاقة وهو ضوء الشمس ، لتخليق الكربوهيدرات من ثانى أوكسيد الكربون والماء . وكما تعلمنا جميعا فى دروس العلوم فى المدارس الثانوية ، فإن الأوكسجين هو فضلات ونفايات هذه العملية . وقد تجمع الأوكسجين بعد ذلك فى الهواء على طول التاريخ البطىء للأرض ، ونشأت الكائنات التى تحتاج إلى الأوكسجين ؛ وهى الحيوانات .(٢) وظهرت بعد ذلك الدائرة الكاملة للحياة كما نراها اليوم . وقد غيرت هذه العملية توزيع كثير من مكونات الغلاف الجوى . ويتفاعل النيتروجين ببطء ملحوظ مع المواد الأخرى ، ولكنه يمثل جزءا أساسيا من المادة الحية ، ولهذا فإن الكائنات الحية تعدل

بصورة كبيرة التوازن بين نيتروجين الهواء ونيتروجين المحيط ، والنيتروجين الموجود بالأرض اليابسة . ويدور ثانى أوكسيد الكربون بسرعة خلال المحيط الحيوى ، ويُختزن بعض منه فى هذه العملية ، على هيئة حجر جيرى أو رخام ، وعلى هيئة غاز ونفط وفحم ، وعلى هيئة مادة عضوية متداخلة فى التربة .

ولم تحدد سلسلة الأحداث هذه تركيب الهواء فقط ، ولكنها غيرت أيضا درجة حرارة الأرض . وثانى أوكسيد الكربون هو غاز محتبس للأشعة تحت الحمراء ، وهو يمتص الإشعاع الذى كان - فى غير هذا - يمكن أن يهرب من الأرض ، وبذلك يحفظ الكوكب دافئا . أما الأوكسجين فهو ليس كفئا فى احتباس الإشعاعات الخارجة (وبصفة عامة ، فإن جزيئا متناسقا مثل جزىء الأوكسجين الذى يتكون من ذرتين متماثلتين ، تتوافر له طرق أقل لكى يدور حول نفسه أو يتذبذب ، ولهذا فهو يمتص ويبث الإشعاعات بأقل مما تفعله الجزيئات ذات الأشكال المعقدة مثل ثانى أوكسيد الكربون وبخار الماء) . وهكذا فإن إضافة الأوكسجين وطرح ثانى أوكسيد الكربون ، كما تفعل عملية التخليق الضوئى ، أتاحا للأرض أن تصبح أبرد مما كان يمكن أن تكون عليه لو لم يحدث ذلك . وقد يبقى جزء من ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى للأرض ، ويتجدد بتنفس النباتات والحيوانات ، وكذلك بانبعاثه من البراكين والينابيع الحارة . كما يقوم الماء المتبخر من البحار والبحيرات باحتباس الأشعة تحت الحمراء ، ولهذا فإن درجة ما من احتباس الأشعة تحت الحمراء واحترار المناخ ما زالت مستمرة إلى اليوم .

والعلاقة بين تركيب الغلاف الجوى والمادة الحية علاقة وثيقة . فالنيتروجين ليس غازا نشيطا جدا - إذ يقضى جزىء النيتروجين فى

المتوسط نحو عشرة ملايين سنة فى الهواء قبل امتصاصه فى عملية بيولوجية ـ ولكن ثانى أوكسيد الكربون يتم هذه الدورة كل ست سنوات تقريبا . وحتى العمليات التى تبدو لأول وهلة أنها عمليات كيميائية أو ميكانيكية ، غالبا ما تشمل مكونا بيولوجيا . ومثال ذلك أن ثانى أوكسيد الكربون الذى يختفى من الهواء لمدد طويلة من الزمن حيث يتداخل فى طبقات الصخور ، لا يفعل ذلك بخطوات كيميائية بحتة ، فهو يذوب أولا فى ماء البحر ، ثم تلتقطه مخلوقات صغيرة وتحوله إلى أصداف ، ثم تسقط هذه الأصداف إلى قاع البحر وتصبح جزءا من الرواسب . ويُختزن كل من ثانى أوكسيد الكربون والنيتروجين فى رواسب الفحم عندما تدفن المادة الحية ، وتؤدى جميع أصناف الكائنات الموجودة بسطوح الصخور إلى الإسراع بتحويل الصخور إلى تربة . وربما كان أوضح مثال لتخليق الغلاف الجوى بواسطة الأشياء الحية يتبدى فى حالة الأوكسجين ، فهذا الغاز كان موجودا فى الغلاف الجوى بتركيزه الحالى تقريبا لأكثر من مليار سنة ، ولكن لو كان إنتاج الأوكسجين بواسطة الكائنات الحية قد توقف فجأة ، فإن تعرض الصخور للعوامل الجوية كان يمكن أن يزيل هذا الأوكسجين من الهواء خلال جزء صغير من هذا الزمن ، فى أربعة ملايين سنة تقريبا . وقد قامت الكائنات الحية بتجديد الأوكسجين الذى نحتاجه فى الهواء مئات المرات عبر تاريخ الأرض .

وعلى هذا فإن الهواء بعيد عن أن يكون « شيئا منفصلا » ، ولكنه ببساطة أحد مكونات نظام متقارن ومتفاعل معا . وتشترك جميع الكائنات الحية فى تكوين تركيب الغلاف الجوى ، والتغيرات التى تتم فى الغلاف الجوى تؤثر على الحياة فى كل مكان . وفى هذا الكتاب مناقشة لبعض نواحى هذا التقارن ، ولكننى أخطو بالموضوع الغالب فيه خطوة أخرى للأمام . وعلى نحو متزايد ، لم يعد الناس مجرد نوع من ملايين الأنواع

الحية التى تتفاعل مع الغلاف الجوى ، فهناك الآن أعداد كبيرة منا ، وكل منا يمتلك فى المتوسط قدرة كبيرة حتى أنه يمكن قياس تأثيرنا على النظام العالمى كله بسهولة . وعندما نسافر جوا عبر المحيطات أو الصحراوات ، وننظر إلى أسفل على المساحات الشاسعة التى إما أنها غير مأهولة أو قليلة السكان ، فإننا قد نجد صعوبة فى الاعتقاد بأن الناس يستطيعون تغيير الأرض . ولكن المجتمع قد وجد فى الغلاف الجوى ، وبمحض الصدفة ، ما أسماه أحد أخصائيي وول ستريت « موقفا شديد التأثر بالأفعال » . ودرجة حرارة سطح الأرض يحددها تركيب الهواء ، ولكن أجزاء الهواء التى تتسبب فى أعلى فرق فى درجة الحرارة ليست هى المكونات الرئيسية ، ولكنها عدد قليل من المكونات « النزرة » . وغاز ثانى أوكسيد الكربون هو الغاز المسئول عن حفظ الأرض دافئة ، ويوجد فى الهواء بتركيز يقل عن ٠,٠٤ فى المائة . ومن ثم ، فلكى نحدث تغييرا فى دفء الأرض ، فإننا لا نحتاج إلى أن نتطفل على كل الخمسة كوادريليون (*) طن للغلاف الجوى ، ولكن على جزء أصغر من ذلك بكثير فقط . وتتضمن كيمياء الهواء التى تؤدى إلى الأمطار الحمضية أو إلى تلوث هواء المدن ، مواد تظهر بتركيزات تصل إلى بضعة أجزاء من المليار ، ونحن نقيس تركيز المواد المدمرة للأوزون بأجزاء من التريليون .(**)

(*) الكوادريليون : واحد وأمامه ١٥ صفرا فى أمريكا وفرنسا ، و ٢٤ صفرا فى ألمانيا وانجلترا . (المعرِّب)

(**) التريليون : واحد وأمامه ١٢ صفرا فى أمريكا وفرنسا ، و ١٨ صفرا فى ألمانيا وانجلترا . (المعرِّب)

وأى مناقشة للغلاف الجوى اليوم يجب أن تعالج هذه القوة الجديدة والنامية التى تؤثر فى الهواء : يجب أن تنظر فى الخصائص البشرية التى تسبب اندفاعنا نحو التغيرات المجهولة والمهددة بالخطر ، ويجب أن تبحث عن مسارات واقعية للعمل تحول دون اندفاعنا إلى مستقبل أبعد من أن يكون مرغوبا فيه .

الفصل الثانى
الأمطار الحمضية

منذ عدة سنوات ، نشرت مجلة « ناشيونال جيوجرافيك » خريطة جديدة للولايات المتحدة . وكانت هذه الخريطة فى الحقيقة ، تتكون من عدة صور أخذت من الأقمار الصناعية التى تدور حول الأرض ، وتم تجميعها معا في صورة كبيرة واحدة ، وكأننا ننظر إلى أسفل مباشرة على البلاد .[٣] وكانت الأنهار والبحيرات والجبال والصحراوات ، والغابات والحقول فيها سهلة التمييز ، وكان أغلب الناس الذين يرون هذه الصورة لأول مرة ، يعجبون بالنواحى البارزة لتضاريس منظر الأرض لمدة دقائق معدودة ، ثم يدهشون لمعالم الجهات التى يتعرفون عليها فى المناطق التى يعيشون فيها .

وقد ظهرت فى هذه الصورة فى الجزء الجنوبى من البلاد ، دائرة صغيرة برتقالية اللون ، لا تشبه أى سمة من السمات العادية لمنظر الأرض العام . وقد أظهرت مقارنة الصورة بخريطة عادية ، أن هذه البقعة لا تقع فى مدينة أو بجوارها أو تمثل مظهرا جيولوجيا غريبا ، مثل بركان أو قبة جرانيتية ، وقد يشك المرء حقا فى أنها تمثل عيبا فى الفيلم أو بقعة حدثت فى أثناء طبع الصورة .

وقد تبين من زيارة إلى المنطقة أن هذه البقعة الغريبة حقيقية . وعلى الرغم من أن المنطقة المحيطة بها - وهى سفوح تلال الأبالاش الجنوبية بكل من جورجيا الشمالية وشمال شرق تنيسى - تتكون من مزارع خضراء وغابات كثيفة ، فإن البقعة نفسها تمثل مئات من الأميال المربعة من التلال العارية ، وقليل من الأشجار الذابلة ، والنباتات المتفرقة . وتوجد بهذه المنطقة مدينتان وبحيرة صناعية ، كما يمر بها طريق سريع ذو أربع حارات . وكان يمكن مشاهدة الناس فيها وهم يذهبون إلى العمل أو للشراء ، وكانت جميع الأنشطة بها تبدو طبيعية فيما عدا أنها تمارس فوق خلفية أقرب ما تكون إلى تضاريس سطح القمر منها إلى أرض جبلية جنوبية رطبة .

وهناك لافتة على جانب الطريق ، تدل المسافر على أن خام النحاس اكتشف هنا من قبل فى القرن التاسع عشر ، وأنه بعد ذلك بقليل أنشىء مصنع لصهر الخام . وكانت هناك لافتات فى المتحف المحلى تصف تاريخ هذا المصنع ، وكيف تم تشغيله فى أول الأمر ، وكيف أغلق لعدة سنوات فى أثناء الحرب بين الولايات ، وكيف أدى تشغيل المنجم والمصنع ومدّ السكة الحديدية إلى حدوث هجرات متنوعة للسكان . كذلك تشير لافتات المتحف إلى الدخان الكبريتى الناتج من المصنع فى أيامه الأولى ، والذى أدى إلى تلف الأشجار ومنع مناطق قطع الأخشاب من أن تنمو مرة أخرى ، وأدى أخيرا إلى تعرية الوادى من المزروعات .

ويتضمن تاريخ تل النحاس فى تنيسى عدة دروس لأى فرد يدرس الأمطار الحمضية اليوم .[٤] وأول هذه الدروس هو أننا لا نتعلم بالضرورة من الماضى . فقد لاحظ العلماء الانجليز منذ عام ١٦٦١ تأثير الانبعاثات الصناعية على صحة الناس والنباتات .[٥] واقترحوا

إقامة الصناعات خارج المدن ، واستعمال مداخن عالية كى تنشر الدخان إلى أماكن بعيدة . (وحتى قبل ذلك ، أصدرت الملكة اليزابيث إعلانا يمنع إحراق الفحم فى لندن في أثناء انعقاد البرلمان) . وبعد انقضاء ٧٥ عاما ، لاحظ عالم سويدى أن « دخان الكبريت النفّاذ والسام » الناتج من مصنع الصهر ، « سبب تآكلا للأرض بحيث منع نمو الأعشاب حوله » . وبعد ذلك فى عام ١٨٧٢ ، نشر أنجوس سميث كتابا فى انجلترا أسماه « الهواء والمطر : بدايات علم المناخ الكيميائى » ، وصف فيه عشرين عاما من الملاحظات الميدانية والبحوث الخاصة بالمشكلة التى أطلق عليها اسم « المطر الحمضى » . وقد ناقش فى كتابه عديدا من الأفكار التى تراودنا فى دراستنا لمشكلة الأمطار الحمضية اليوم ، ووصف فيه كيف يتسبب حمض الكبريتيك الموجود بالهواء فى تآكل الفلزات وفى قصر ألوان المنسوجات . وقدم سميث كذلك أساليب لجمع عينات المطر وتحليلها . وبعد ذلك بثلاثين عاماً ، بيّن علماء انجليز آخرون أن المطر الحمضى منع نمو النباتات وإنبات البذور كما منع تثبيت النيتروجين فى التربة .

وهناك وقائع أخرى وقصص قديمة ، ودراسات علمية من عدة دول ، تغطى مئات السنين ، تحكى نفس القصة ؛ فقد عرف المجتمع منذ زمن طويل أن مركبات الكبريت في الهواء عبارة عن عوامل تدمير . والاعتقاد الشائع فى تراثنا الأدبى بأن جهنم لها رائحة كبريتية ، يرجع إلى دانتى (*) ، وربما إلى زمن أقدم من ذلك . وهكذا ، فإن المعَدِّنين والعاملين بمصنع الصهر فى تل النحاس ، كان يمكنهم أن

(*) يشير المؤلف إلى العمل الكبير للشاعر الايطالى دانتى الليجيرى ، « الكوميديا الإلهية » ، وفيها وصف لجهنم برائحتها الكبريتية . (المعرِّب)

يستشعروا مسبقا الضرر الدائم الناتج من أنشطتهم ، ولكن إما أنهم لم يفعلوا ذلك ، وإما أنهم اختاروا أن يتجاهلوا هذا الاحتمال .

ويتعلق الدرس الثانى كذلك باستخدام المعلومات ، فإن أى زائر لهذه المنطقة المحترقة بيولوجيا ، سوف يحصل ، ليس فقط على رواية جديدة لتاريخ المنطقة ، بل سيحصل كذلك على تفسيرات متنوعة للأحداث الماضية . إذ يرى بعض المؤرخين المحليين مثلا ، أن الكبريت لا علاقة له بالدمار الحالى ، وأن الأشجار إنما قطعت لإمداد المصنع بالوقود ، وأن إزالة الغابات هذه هى التى تركت سفوح الجبال عارية . ولا يفسر هذا الشرح السبب فى وجود آلاف من سفوح التلال فى شرق الولايات المتحدة قطعت أشجارها بتوسع شديد لاستخدام أخشابها ، وربما حدث ذلك مرات متتالية ، دون أن تصبح بقعا برتقالية يمكن تصويرها بسهولة من الفضاء . ويعلمنا هذا التفسير أن كثيرا من الناس لا يريدون الاعتراف بالآثار السيئة للمواد التى أصبحوا معتادين على معايشتها ، أو - كما يقال لهم - تعتمد عليها وظائفهم . ويشبه كثير من أهل ولاية تنيسى فى هذا الصدد ، سكان لوس أنجلوس الذين أنكروا لسنوات طوال أن عادم السيارات له دخل فى تكوين الضباب الدخانى .

والدرس الأخير الذى يمكن تعلمه من تل النحاس مختلف تماما ، فإن الملّاك الحاليين للمنجم ومصنع الصهر ، وضعوا برنامجا للبحث عن أنواع النباتات والأشجار - بالإضافة إلى طرق معالجة التربة - التى قد تسمح لهم بإعادة زراعة المنطقة وتحويلها حتى إلى غابات . وتنفيذ هذا البرنامج أخذ فى التقدم - ولكن الإعلان عنه قوبل بمعارضة عدد قليل من المجموعات المحلية ، الذين أعلنوا أنهم عاشوا لعدة أجيال وسط التلال الحمراء العارية ، وشبوا على محبتها ، وهم لا يرحبون بإحداث تغيير جذرى فى المنظر العام . ويطلق البعض على هذه المنطقة « الندبة

المحبوبة » ، ويطالبون بأن تترك دون تغيير . والدرس الثالث هو أنه بمرور الوقت ، يستطيع الناس أن يتأقلموا مع الظروف المتغيرة ، حتى بإقناع أنفسهم بأنهم أحسن حالا بعد التغيير ، بصرف النظر عما يراه بقية العالم .

وفى الوقت الذى أكدت فيه الشواهد من تل النحاس ومن مصانع الصهر حول العالم ، أن مركبات الكبريت المحمولة فى الهواء يمكن أن تقتل النباتات ، كانت هناك حوادث أخرى تدين الكبريت فى الإضرار بالناس . وفى تل النحاس ، بدا أن تعريض الوادى لدخان ثانى أوكسيد الكبريت مباشرة ، هو المصدر المحتمل لأغلب الدمار الذى أصاب المزروعات . ولكن عندما بنيت مداخن أكثر ارتفاعا هناك وفى غير ذلك من الأماكن ، على أمل تنظيف الهواء فى المناطق المجاورة للانبعاثات ، استمر ثانى أوكسيد الكبريت مدة أطول فى الهواء قبل أن يعود إلى الأرض ، وتأكسد جزء منه فى هذه العملية إلى كبريتات وحمض كبريتيك ، وكلاهما يمكن أن يصيب الناس بالضرر عند استنشاقه . وفى حوادث متفرقة ، ولكنها درامية ، لقى عشرات أو مئات أو آلاف من الناس حتفهم فى وادى ميوز ببلجيكا عام ١٩٣٠ ؛ وفى دونورا بولاية بنسلفانيا عام ١٩٤٨ ؛ وفى لندن أعوام ١٩٥٢ و ١٩٥٣ و ١٩٦٢ ؛ وفى مدينة نيويورك عام ١٩٥٣ ؛ وفى مساحة واسعة من شرقى الولايات المتحدة عام ١٩٦٦ ، خلال نوبات الجو الساكن ، عندما وصل تراكم الكبريتات فى الهواء إلى مستويات بالغة الارتفاع .[٦] وبعد مرور قرن على وجه التقريب من ملاحظة أنجوس سميث للآثار الضارة للأمطار الحمضية ، لوحظ ثانية ـ وإن كان بصورة أقل إثارة ـ أن بعض الأحجار والخرسانة والطلاء والصلب ، فى المدن الكبريتية ، قد أصابها البلى بشكل أسرع .

ونظرا لأن بعض هذه الأحداث المميتة وأمثلة الدمار للمبانى ، قد حدثت فى أماكن بعيدة عن مصانع صهر الخامات الكبريتية ، فقد كان لابد من إلقاء اللوم على مصدر آخر كبير للكبريت فى الغلاف الجوى ، ولم يكن من العسير العثور على هذا المصدر - وهو أنواع الوقود الأحفورى . وغالبا ما تحتوى أنواع الوقود الأحفورى على كميات صغيرة من الكبريت على هيئة شوائب . ويؤدى إحراق الوقود إلى إحراق الكبريت كذلك ، منتجا غاز ثانى أوكسيد الكبريت . وحرق كميات كبيرة من الوقود الأحفورى كل يوم ، حتى وإن كان محتواها من الكبريت يصل إلى ١ فى المائة أو نحو ذلك ، يدفع بملايين الأطنان من الكبريت فى الهواء كل عام . وتصل الآن تركيزات الكبريت فى الهواء فى المناطق الصناعية فى أوروبا ، وفى الولايات المتحدة إلى نحو ١٠ أو ٢٠ مرة قدر ما كانت عليه فى الحقبة التى سبقت إحراق الفحم .

وقد أدى انتشار المرض وإغبرار الجو فى المناطق الحضرية إلى القيام بمحاولات لتخفيض تركيزات ثانى أوكسيد الكبريت فى المدن الكبيرة أو بجوارها . ونجحت المداخن العالية جزئيا ، فى أول الأمر ، فى إرسال ثانى أوكسيد الكبريت بعيدا عن المدن ، ثم اتخذت بعد ذلك خطوات لخفض الانبعاثات الضارة بدلا من مجرد نشرها . وتم إحلال زيت الوقود (المازوت) ذى المحتوى الكبريتى المنخفض ، فى بعض الحالات ، محل الفحم الذى يحوى نسبة عالية من الكبريت . وأضيفت معدات إلى مداخن محطات القوى الجديدة لإزالة بعض الكبريت من الدخان . وأدت هذه المعدات واستبدال الوقود إلى خفض الانبعاثات إلى أقل مما كان يمكن أن تكون عليه لو لم تتخذ خطوات التصحيح ، وفى بعض الحالات تم تخفيض الانبعاثات بشكل لافت للنظر . ففى الولايات المتحدة مثلا ، حيث زادت انبعاثات ثانى أوكسيد الكبريت بسرعة كبيرة

مع نمو الاقتصاد ، أدت خطوات التصحيح إلى تخفيض هذه الانبعاثات من أعلى قيمة لها وهى نحو ٣٠ مليون طن مترى فى السنة عام ١٩٧٠ ، إلى أقل من ٢٥ مليون طن بعد عام ١٩٨٠ . وما زال هذا المعدل أعلى بكثير منه فى زمن ما قبل التصنيع ، وهو معدل كبير بدرجة تكفى لإحداث أضرار بالغة .[٧] وتصل انبعاثات ثانى أوكسيد الكبريت ، على مستوى الكرة الأرضية ، إلى نحو ١٠٠ مليون طن فى السنة ، ومن المحتمل أن تأخذ فى الزيادة ، وذلك لأن دول العالم الثالث تسارع لاحتلال مكانها بين الأمم الصناعية .

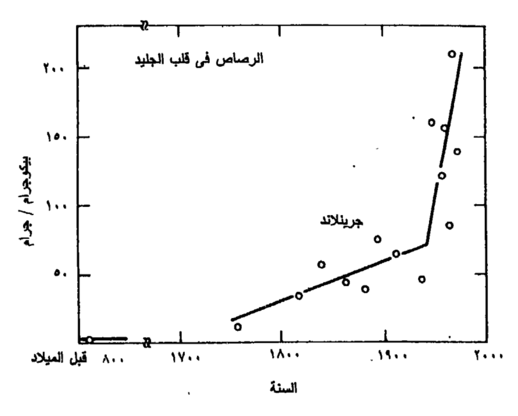
وفى ضوء الاعتقاد الذى يرجع إلى عدة قرون مضت ، بأن الكبريت فى الهواء له تأثير مدمر ، بالإضافة إلى الأحداث الدرامية التى تحدث من وقت لآخر وتبرز هذه الحقيقة ، فإنه يبدو من المستغرب أن ينظر إلى الأمطار الحمضية فى زماننا وكأنها مفاجأة يصعب على الناس والصناعات والبلدان إيجاد علاج لها . وكل ما نحتاجه فقط هو أن نتذكر تل النحاس لنرى كيف يقاوم الناس بشدة الاعتقاد فى أن بعض الظروف المعتادة ـ خاصة ما ارتبط منها بالوظائف والدخل ـ لها تبعات سلبية طويلة الأمد . يضاف إلى ذلك أن طبيعة المشكلة قد تغيرت ، فأغلب الأضرار الناتجة من مصانع الصهر ، كانت تحدث على مقربة من المداخن . وعلى العكس من ذلك ، فإن مشكلة الأمطار الحمضية اليوم أصبحت أشد مكرا ، فمركبات الكبريت أصبحت أكثر تخفيفا ، ورغم توقع انتشار الدمار على نطاق واسع فى البحيرات والغابات ، إلاّ أن مصدر الكبريت وموقع الدمار غالبا ما يكونان متباعدين عن بعضهما البعض ، والصلة بينهما معقدة وصعبة الإثبات .

وتنفث البراكين والمستنقعات والبحار جميعها ، مركبات الكبريت فى الهواء ، وتتحول هذه المركبات ، مثلها مثل الكبريت المتصاعد من

المداخن ، إلى حمض الكبريتيك وإلى الكبريتات . وتثير هذه الحقيقة سؤالا هاما : إذا كانت الغابات والبحيرات دائمة التعرض إلى النواتج الحمضية للكبريت ، فلماذا نقلق لحدوث زيادة قليلة فيها ؟ وقد بينت التقديرات الخاصة بالكمية الكلية للكبريت المتصاعد فى الهواء فى أنحاء الكرة الأرضية ، أن الكمية الناتجة من أنشطة البشر ، تساوى تقريبا كل ما ينتج من المصادر الأخرى . وعلى هذا فإن تأثير البشر لا يمكن وصفه على أنه يسبب « زيادة قليلة فيها » فحسب .[8] ويمكن الحصول على صورة أوضح لمدى مساهمة البشر فى هذا المجال من دراسات الغطاء الجليدى لجرينلاند .

إذ يتساقط الثلج كل عام على الجليد الدائم لجرينلاند (وبالمثل على المنطقة القطبية الجنوبية) مرسبا معه جسيمات من الهواء . وتقوم الثلوج المتساقطة فى الأعوام التالية ، ليس فقط بتغطية هذه الجسيمات وحفظها ، ولكنها تحتبس أيضا بعض الهواء المختلط ببلورات الثلج . وبمرور سنة وراء أخرى ، تقوم الثلوج اللاحقة بضغط الثلوج السابقة فى طبقات رقيقة وتحولها إلى جليد دون أن تغير من تركيب الجسيمات المحتبسة أو الهواء المحتبس . وعند استخراج هذا الجليد طبقة وراء طبقة وتحليله اليوم ، فإنه يحكى لنا قصة رائعة . إذ تبقى الطبقات الواقعة على عمق كبير مميزة حتى أنه يمكن عدها بسهولة ، مثلها فى ذلك مثل حلقات الشجر ، ويمكن للعلماء أن يعينوا متى ترسبت كل عينة منها . وعند أعماق أكبر من ذلك ، فإن ضغط الجليد يجعل تعيين زمن الأحداث السنوية أكثر صعوبة ، ولكن يمكن استعمال تقنيات أقل دقة لمعرفة مدى قدم العينة على وجه التقريب . والمواد التى تنشأ فى أمريكا الشمالية وفى أوروبا ، وحتى فى أماكن أبعد من ذلك ، كثيرا ما تترسب فى المناطق القطبية الشمالية . وهكذا فإن جليد جرينلاند يختزن سجلا

يبين كيف يؤثر النشاط فى نصف الكرة الشمالى ، الذى توجد به أغلب مجتمعات العالم الصناعية ، فى الهواء . ويمثل الشكل (١) ، المنحنى الخاص بكمية الرصاص الموجودة فى أعماق مختلفة من غطاء جرينلاند الجليدى . ولا توجد علاقة كبيرة بينه وبين الأمطار الحمضية ، ولكنه يصور بوضوح قدرة هذا الغطاء الجليدى على إمساك دفاتر التسجيل.[٩] ومن الملاحظ أن الارتفاع كان مطردا فى رواسب الرصاص ، وهو الارتفاع الذى بدأ فى وقت ما قبل عام ١٧٥٠ ، بسبب

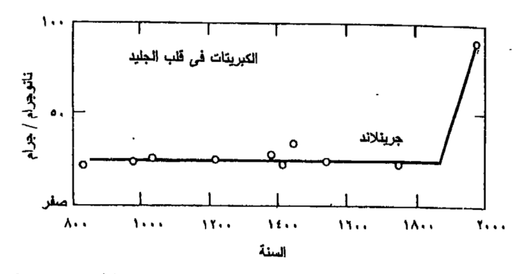


شكل (١) : كميات الرصاص فى عينات جليد جرينلاند المستخرجة من أعماق مختلفة تحت السطح . ويقاس تركيز الرصاص فى الجليد بوحدات البيكوجرام (*) (١٠-١٢ جم) لكل جرام من الجليد ، أو بما يكافئها من أجزاء من التريليون بالوزن .

(*) البيكوجرام : جزء على مليون مليون من الجرام . (المعرّب)

التوسع فى استخدام الرصاص والزيادة فى أعداد مصانع صهر الرصاص فى أوروبا وفى أمريكا الشمالية . ويوجد الرصاص مع الفضة فى كثير من الرواسب ، ولهذا فإن الزيادة فى استعمال الفضة لصنع العملة أو المجوهرات ، ساهمت كذلك فى وجود الكميات المتزايدة من الرصاص فى الجليد . ولكن بمجرد إدراك أن الرصاص والفلزات الأخرى الضائعة فى الهواء يمكن استعادتها اقتصاديا ، ومع زيادة كفاءة مصانع الصهر ، فإن كمية الرصاص فى الهواء لم ترتفع بنفس المعدل الذى زادت به أعداد مصانع الصهر . وقد استمر النشاط الصناعى فى التسارع فى القرن العشرين ، وأدخل رابع ايثيل الرصاص كمادة مضافة إلى البنزين . ونتيجة لذلك ارتفعت كمية الرصاص فى جليد جرينلاند محلقة إلى أكثر من مائتى مرة قدر قيمتها فى زمن ما قبل الحضارة . وسوف يستطيع العلماء فى المستقبل أن يستنتجوا من تحليلات جليد جرينلاند ، مدى نجاح المجهودات الراهنة فى كثير من الدول الصناعية لتقليل استعمال الرصاص فى الوقود .

والمادة الأخرى التى يمكن قياسها من قلب جليد جرينلاند ، هى الكبريت الموجود به على هيئة الكبريتات .[١٠] ويمكن استعمال سجل الجليد لاختبار استنتاجات العلماء الذين يحاولون تقدير كمية الكبريت المنبعث نتيجة الأنشطة البشرية . ويبين شكل (٢) أن تركيز الكبريتات بدأ يزداد بسرعة فى وقت ما حول عام ١٨٠٠ ، واستمر هذا الاتجاه فى العينات الأكثر حداثة ، والتى بها قدر من الكبريتات يزيد ثلاث مرات عما كان فى الأزمنة السابقة . وعلى وجه التأكيد ، فإن كلا من كميات الرصاص والكبريتات تعكس الزيادة فى التصنيع فى نصف الكرة الشمالى . ولا يبقى الرصاص ، أو الكبريتات ، المتصاعدان من المداخن فى الهواء أكثر من أسبوع أو اثنين ، ويتساقط جزء كبير من

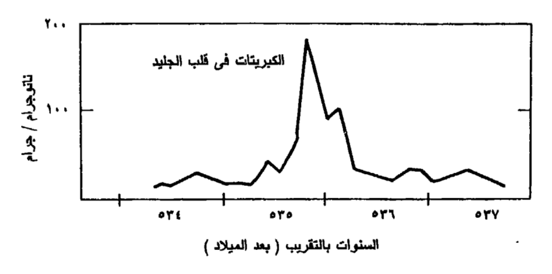


شكل (٢) : تركيز أيونات الكبريتات فى جليد جرينلاند على هيئة نانوجرام (*) كبريتات (١٠-٩ جم) لكل جرام جليد ، أو أجزاء من المليار بالوزن . وقد رسم الخط خلال النقاط المقاسة لتأكيد الزيادة السريعة فى السنوات الأخيرة ، ولكن التاريخ الفعلى لبدء الزيادة ، كما هو مبين بهذه النقاط القليلة ، من الممكن أن يكون أى وقت بعد عام ١٧٥٠ .

هاتين المادتين قبل أن تبلغا جرينلاند . وينبنى على هذا أن الزيادة فى رواسب جرينلاند فى خلال القرنين الماضيين ، تعكس زيادة أكبر فى الأماكن الأخرى .

والقياسات المبينة فى شكل (٢) ، هى تلك القياسات التى أخذت من عينات للجليد لم تظهر بها أية شواهد للفتات البركانى . ويمكن للبراكين أن تنفث ثانى أوكسيد الكبريت فى الغلاف الجوى ، وأن تجعل الكبريتات هى السائدة فى جليد جرينلاند لفترات قصيرة من الزمن . ومثال ذلك شكل (٣) (للحصول على مصدر البيانات ، انظر ملحوظة ١٠) ، الذى يبين الكبريتات فى الجليد على أعماق تقابل بضع سنوات حول عام ٥٣٥ ، عندما دفع بركان مجهول بقيم الكبريتات إلى نحو ٢٠٠ نانوجرام

(*) النانوجرام : واحد على ألف مليون من الجرام . (المعرّب) .



شكل (٣) : الكبريتات المقاسة فى جليد جرينلاند على أعماق تقابل أربع سنوات قرب عام ٥٣٥ .

لكل جرام ، لفترة قصيرة من الزمن . وتبدو ثورات البراكين الشهيرة ، مثل ثورة بركان كراكاتوا عام ١٨٨٣ ، وإلدجيا عام ١٩٣٤ ، بوضوح فى التحليلات التفصيلية لقلب الجليد، ومع ذلك فإن مثل هذه الأحداث نادرة الحدوث على نحو لا يجعلها تؤثر كثيرا على متوسط كمية الكبريتات فى الجليد فى الأجل الطويل . وما يؤكده جليد جرينلاند هو أن أنشطة البشر تفوق العمليات غير البشرية كمصدر للكبريت فى الهواء . وما لا يستطيع أن يخبرنا به طبعا ، هو ما الذى يعنيه كل ذلك .

وقد تطور النمط الحالى للحياة على الأرض فى ظل معدل معين لترسيب الكبريت ، وهو كمية يمثلها بدقة ذلك التساقط الذى حدث فوق جرينلاند منذ بضع مئات خلت من السنين . ومن المعقول أن نتوقع أنه إذا زاد هذا المعدل إلى ثلاثة أمثاله ، كما حدث فى نصف الكرة الشمالى ، فإن بعض سمات الأنظمة الحية لابد وأن تتغير تبعا لذلك ، حتى تلك الأنظمة التى تقع بعيدا عن المراكز الحضرية ، وهناك بالتأكيد بعض الإنذارات المبكرة الدالة على ذلك .

وقد استحوذت مشكلة الأمطار الحمضية الحديثة على اهتمام الرأى العام لأول مرة فى الستينيات عندما بدأ الصيادون فى الشكوى من أن أعداد الأسماك وأنواعها فى بعض البحيرات البعيدة ، قد تناقصت بشكل لافت للنظر . وبدراسة هذه البحيرات ، أولا فى اسكنديناقيا ، ثم فى أمريكا الشمالية وسكوتلندا وغيرها ، تبين أن هذه البحيرات قد تغيرت فعلا : فقد أصبحت حمضية على نحو لم تعد معه أنواع مائية كثيرة قادرة على أن تعيش فيها . وقد حدس العلماء فى الحال ، أن هذا التغيير فى درجة الحموضة قد نتج عن وجود حمض الكبريتيك فى الأمطار التى تغذى هذه البحيرات ، وأن المداخن التى تنفث ثانى أوكسيد الكبريت هى مصدر حمض الكبريتيك .

وقد وجد العلماء أنه من السهل إثبات أن البحيرة الحمضية لا تستطيع أن تعول بعض الأنواع المائية ، كذلك كان من السهل إثبات أن الأمطار فى اسكنديناقيا وفى بعض الأماكن الأخرى ، تحتوى على حمض الكبريتيك . وحتى يتمكن العلماء من الربط بين إحراق الوقود الأحفورى وموت الأسماك ، فقد كان عليهم أن يثبتوا أن حمض الكبريتيك الموجود بالمطر هو الذى حمّض البحيرات ، وأن يبينوا أن المداخن ذاتها ، هى التى وضعت حمض الكبريتيك فى المطر فى المحل الأول - وهى مهمة كانت أصعب كثيرا من بيان أن الحمض يقتل الأسماك .

ووضع خريطة كيميائية حتى لبحيرة واحدة ليس أمرا سهلا . وأغلب المياه الداخلة إلى إحدى البحيرات ، لا تكون فى المعتاد على هيئة مطر أو ثلج يتساقط على سطحها مباشرة ، ذلك أن البحيرة تجمع الماء من سيحان المياه السطحية أو المياه الجوفية التى تأتى إليها من مناطق مستجمعات المياه الأكثر اتساعا . والأمطار التى تسقط بعيدا عن أية بحيرة ، قد تصطدم بأوراق النباتات فى أثناء سقوطها ، وعندما تصطدم

بالتربة فإنها قد تجرى على سطحها أو تخترقها وتتحرك تحت الأرض ملامسة لعدة أنواع من التربة قبل أن تدخل إلى البحيرة . وكذلك قد تتدفق على سطح الصخور . ويمكن أن تدخل فى تفاعلات كيميائية مع كل هذه الأشياء التى تصادفها ، مما يجعلها أكثر أو أقل حمضية ، ويغير من كميات الشوائب الأخرى الموجودة بها . وهكذا فإن فهم كيمياء بحيرة ما يقتضى دراسة عدة بحيرات ومقارنتها معا ، وقراءة طبقات الرواسب فى قاع البحيرة لتعيين زمن بداية التحميض ، مع وصف طبيعة التغيرات الكيميائية التى تمر بها الأمطار التى تصل إلى البحيرة فى النهاية .

وقد تم إجراء مثل هذه الدراسات المضنية ، وأدى ذلك لبناء سلسلة تدعو إلى الإعجاب من الأدلة التى تربط بين الحمض الموجود بالأمطار وتدهور البحيرات ، وأصبح كثير من العمليات التفصيلية الهامة المرتبطة بالموضوع مفهوما فى الوقت الحالى .[11] فقد استطاعت هذه الدراسات مثلا ، أن تفسر الملاحظة المحيرة الخاصة باستجابة بحيرتين بطرق مختلفة تماما ، لكميات متماثلة من الأمطار الحمضية . إذ ينشأ عدم التماثل فى الاستجابة هذا ، من اختلاف التربة والصخور المجاورة لكل من البحيرتين . فإذا كان حوض البحيرة يحتوى على تربة أو صخور تستطيع معادلة الحمض الموجود بالمطر ، فإن هذه البحيرة قد تبدى استجابة محدودة نحو الأمطار الحمضية . وفى الوقت نفسه ، فإن بحيرة مجاورة محاطة بمادة مختلفة ، قد تفقد ما بها من الأسماك ومن الأنواع المائية الأخرى . ويمكن تمييز البحيرات ، وأحيانا مناطق كاملة ، بصخورها وتربتها ، وتصنيفها على أنها « حساسة » تجاه الأمطار الحمضية ، أو أنها « محجوزة جيدا » عنها . وباختصار ، فإن التربة المحيطة ببعض البحيرات قد تكون لها قدرة كافية على المعادلة تبطىء أو تزيل الأثر السيىء لمعدلات تساقط الحمض الحالية .

وستصبح كل البحيرات فى نهاية الأمر « حساسة » عندما تستنفد الجرعة السنوية للأحماض فى النهاية كل قدرة المعادلة المتوافرة فى الصخور وفى التربة المحيطة بها ، إذا لم تكن هناك وسائل أخرى تعمل على زيادة قدرتها على الحجز . ولحسن الحظ ، هناك عمليات أخرى تعمل على إعادة أو تجديد القدرة على معادلة الحمض ، وإحدى هذه العمليات هى تعرض بعض الصخور للعوامل الجوية ، مما يساعد على إطلاق مواد حاجزة إضافية إلى التربة . كما يمكن أن تقوم كائنات دقيقة معينة بمعالجة الكبريتات وتقليل تأثيرها بالنسبة للبحيرات . ويشك العلماء كذلك فى أن الغبار المتطاير فى العواصف القادمة من الصحراوات القلوية فى غرب الولايات المتحدة ، والمتساقط على مستجمعات المياه الشرقية ، قد يساعد على معادلة الأمطار الحمضية .

وقد استغرق الأمر سنوات طويلة للتوصل إلى هذه الاكتشافات . وفى الوقت نفسه ، واجه الباحثون الذين يحاولون تتبع أصل أمطار حمض الكبريتيك ، مهمة أخرى على نفس الدرجة من التعقيد . ولكن فى هذه الحالة ، كانت هناك أدلة وقرائن تشير إلى أن المداخن هى المصدر . وكانت التقديرات الخاصة بالكمية الكلية للكبريت المتساقط على هيئة حمض الكبريتيك فوق منطقة ما ، مثل شمال شرقى أمريكا ، تساوى على وجه التقريب كمية الكبريت الكلية المنبعثة فى الهواء فى عكس اتجاه الرياح فوق هذه المنطقة . ومما يعزز هذه القضية ، أن الزيادة فى التساقط الحمضى خلال العقود القليلة الماضية ، حدثت فى مناطق ازداد بها انبعاث ثانى أوكسيد الكبريت خلال نفس الوقت . وأخيرا ، فإن المناطق التى تساقطت بها الأمطار الأكثر حمضية ، كانت تقع عادة فى اتجاه هبوب الرياح من المناطق التى ينبعث منها أغلب الكبريت فى الغلاف الجوى . ومع كل ذلك ، فإن الأدلة والقرائن لم تصمد أبدا فى البحث العلمى ، وثبت أن استكمال جميع التفاصيل التى

تحدد الصلة بين المداخن وبين سقوط الأمطار ، بقياسات جيدة وبتفسير نظرى مقنع ، أمر عالى التكلفة ومستنفد للوقت .

وقد تضمنت عملية التحرى هذه بعض الكيمياء الأساسية ، وغير الأساسية . وكانت هناك حاجة إلى إجراء قياسات فى الهواء ، وفى المعمل لتتبع العمليات التى يتحول بها ثانى أوكسيد الكبريت إلى حمض الكبريتيك ، وتبين أنه لم يكن هناك مسار واحد : فمن الممكن أن يحدث هذا التحول بعد ذوبان ثانى أوكسيد الكبريت فى قطرة ماء فى إحدى السحب ، أو قبل ذلك فى الهواء الرائق وفى وجود ضوء الشمس . وتشترك فى هذين التفاعلين مواد أخرى ، بعضها أيضا ملوثات من صنع الإنسان . وقد تم كذلك دراسة الكيفية التى يصل بها حمض الكبريتيك أو الكبريتات بعد تكونهما إلى سطح الأرض ، وهنا أيضا كان هناك عديد من المسارات . فقد تسقط مثل هذه المركبات إلى الأرض مع قطرة المطر التى تكونت فيها ، كما يمكن أن تتكون فى الهواء الجاف ثم تنزل بها بعد ذلك قطرة مطر متساقطة ، أو يمكن ببساطة أن تصطدم بالأرض على هيئة غاز أو جسيم جاف وتلتصق بورقة نبات أو بحبيبة من التربة . وقد ثبت أن رصد هذه العملية الأخيرة - التى تعرف بالترسيب الجاف - أكثر صعوبة من رصد الأحماض فى قطرات المطر أو فى الثلج ، وما زال لدى العلماء حتى الآن تقديرات تقريبية فقط عن الكمية الكلية من الرواسب الحمضية الجافة .

وقد توصل العلماء فى وقت مبكر من هذه البحوث الحديثة إلى أن المطر يحتوى على حمض النيتريك بالإضافة إلى حمض الكبريتيك . ويعنى هذا الاكتشاف أن هناك حاجة إلى خطين من البحث ؛ فكل القياسات الخاصة بثانى أوكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك ، يجب أخذها بالمثل بالنسبة لأكاسيد النيتروجين وحمض النيتريك . ولا تختلف

كيمياء كل من المادتين فقط ، ولكن يختلف كذلك توزيع مصادرهما . ففى حين يتصاعد أغلب الكبريت إلى الغلاف الجوى فى أثناء إحراق الفحم فى محطات القوى الكبيرة أو فى مصانع صهر خامات الفلزات مثل النحاس ، فإن مصادر أكاسيد النيتروجين تشمل إحراق كل أنواع الوقود الأحفورى سواء فى محطات القوى ، أو فى العمليات الصناعية ، أو فى آلات الاحتراق الداخلى - المستخدمة أساسا فى السيارات والحافلات والشاحنات . وهكذا فإن مصادر أكاسيد النيتروجين أكثر انتشارا من مصادر ثانى أوكسيد الكبريت .

ولكن حمض النيتريك ليست له تلك السمعة السيئة المعروفة منذ قرون ، التى يحظى بها الكبريت المحمول فى الهواء ، ولهذا فإن بعض العلماء كانوا يميلون فى البداية إلى رفض اعتبار حمض النيتريك مساهما هاما فى الأمطار الحمضية . فالنيترات ، على كل حال ، تعتبر غذاء للنباتات ؛ والمزارعون يصرفون الملايين لإضافة أسمدة قاعدتها آزوتية إلى حقولهم كل عام . ويبدو أنه من المعقول أن نتوقع أن يُحدث هذا النوع من الأمطار الحمضية خيرا بنفس قدر ما يحدثه من ضرر للغابات والحقول ، وأن يقوم النبات بالانتفاع بقدر كبير منها قبل أن تتمكن من الوصول إلى بحيرة ما وتلوثها . ولكن لسوء الحظ فإن الأمور تأخذ مسارا مختلفا . ففى الشتاء تتجمع الأحماض فى الثلج ، ثم تنطلق فجأة عند انصهار الثلج فى الربيع . وقد ثبت أن حمض النيتريك هو المساهم الأساسى فى « نبضة الحمض » هذه التى تحدث كثيرا من الدمار فى الأنظمة الأيكولوجية للبحيرات . ففى غرب الولايات المتحدة ، حيث يحتوى الفحم على كبريت أقل مما فى الأماكن الأخرى ، يسهم حمض النيتريك بأكثر من نصف الحموضة الكلية لماء المطر . وقد تبين أن أكاسيد النيتروجين تبدأ تفاعلات كيميائية فى الهواء تولّد الأوزون وفوق أوكسيد الهيدروجين ، ويتدخل كل منهما فى تحويل ثانى أوكسيد

الكبريت إلى حمض الكبريتيك ، كما يمكن لكل منهما أن يدمر النباتات بطريقة مباشرة .

وحتى بعد أن يتم التحقق من مصادر ثانى أوكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين ، ويتم فهم التحولات الكيميائية الأساسية ، تتبقى مشكلة تتعلق بوصف الكيفية التى تنتقل بها هذه المواد ، فى أثناء تحولها ، من المداخن أو من أنابيب العادم بالسيارة إلى مصدر مياه لبحيرة حساسة . فلا يمكن عادة أن نراقب غمامة واحدة من الملوثات بصفة مستمرة لعدة أيام ، فى أثناء حركتها بعيدا عن المصدر ، ثم وهى تتغير وتختلط بملوثات أخرى ، ثم وهى تسقط أخيرا علي سطح الأرض ، ولهذا تستعمل نماذج رياضية معقدة على الحاسب الآلى لتمثيل هذه العملية فى المناطق الكبيرة .

وعندما نصف نموذجا ما بأنه معقد أو رياضى ، فإن هذا يدعو كثيرا من الناس إلى اعتبار أن كل النماذج غامضة ، ولكن بعضا من هذه النماذج يستعمل كل يوم . فالسائق الذى يقود سيارة وسط حركة المرور لديه نموذج ذهنى عن الأماكن التى ستتجه إليها السيارات الأخرى بعد بضع ثوان ، وهو يقرر إما أن يسرع أو أن يبطىء ، أو يدور جانبا على أساس هذا التصور دائم التغير . ولا يتم استخدام الحاسب الآلى ، ذى الذاكرة الكبيرة والسرعة الفائقة ، إلا عندما تكون العناصر التى يجب أخذها فى الاعتبار كثيرة جدا أو متغيرة بحيث يصعب على الفرد تذكرها ، أو عندما يكون معدل التغير سريعا جدا فيصعب على الفرد الإلمام به . وتثور مشكلة مشابهة لدى ضابط المراقبة الجوية ، وعليه أن يحلها مثل سائق السيارة ، ولكن فى هذه الحالة تكون السرعات أعلى ، وعدد المركبات المشتركة أكبر ، كما أن المركبات هنا تستطيع أن تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل ، بالإضافة إلى اليمين واليسار ، ولهذا

فإن المراقب الجوى يستعمل حاسبا آليا لتكوين صورة عن نشاط الحركة الجوية ، وللحصول على تصور مستمر (أو نموذج) للأوضاع المستقبلية واحتمالات التصادم .

مثل هذه النماذج الرقمية تمثل سمات معتادة للحياة الحديثة . وتصمم شركات الأعمال الكبيرة نماذج لتصور نشاطاتها الرئيسية ، وتستعمل هذه الخرائط دائمة التغير لتقرير أى من هذه النشاطات يستحق الاستمرار فيه ، وأيها يستحق الإقلال منه أو إنهاءه ، حتى يمكن تحقيق أعلى الأرباح . كذلك تقوم إدارات الطرق السريعة بوضع نماذج لسريان المرور لتقرير أين توضع إشارات المرور ، وكيفية ضبط توقيتاتها ، وأين يمكن اقتراح إنشاء طرق إضافية . وتعد هيئات الأرصاد الجوية تنبؤات يومية بمساعدة نماذج فائقة التطور للتغيرات الجوية . وتختلف هذه النماذج بعضها عن بعض ، ولكنها تبدأ جميعا بملاحظة وضع معين ، مثل نشاط الأعمال فى خلال عام محدد ، أو توزيع حركة المرور فى صباح نمطى ، أو درجة الحرارة والضغط والرياح فى مواضع متعددة فى الغلاف الجوى فوق إقليم واسع . وتعتمد كل هذه النماذج كذلك على صيغ رياضية حتى يمكن حساب السلوك أو الأحداث فى المستقبل . وبالنسبة للجو ، فإن مصممى النماذج يستعملون قوانين فيزيائية ثابتة تربط بين كل من القوة والحركة للتوصل إلى هذه الصيغ . وبالنسبة لتدفق المرور على الطرق السريعة ، فإن النموذج قد يؤسس على ملاحظة العلاقة بين كثافة حركة المرور ، وبين السرعة التى يميل الناس للقيادة بها .

والنماذج المستخدمة فى دراسات المطر الحمضى نماذج معقدة مثل غيرها ، وهى تشمل تقنيات لمحاكاة جو إحدى المناطق ، وطرقا لحساب عشرات الألوف من التفاعلات المحتملة بين عشرات من المواد

الكيميائية الموجودة فى الغلاف الجوى الحقيقى . والاحتمالات التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار واسعة المدى . فمحطة قوى واحدة قد تطلق ثانى أوكسيد الكبريت ، وأكاسيد نيتروجين مختلفة ، وجسيمات من السناج ، وبعض المواد الأخرى . وسيارة واحدة يمكن أن تكون مصدرا لأول أوكسيد الكربون ولبعض الهيدروكربونات غير المحترقة ، وأكاسيد نيتروجين وجسيمات ودقائق متغايرة التركيب . ويمكن لضوء الشمس الذى يقع على هذا الخليط من المواد ، أن ينتج الأوزون وفوق أوكسيد الهيدروجين ، وعددا من الكيماويات الأكثر تعقيدا التى تصاحب الضباب الدخانى فى المدن ، وكل من هذه الكيماويات يمكن له أن يتفاعل مع الآخرين .

وكان هناك أمل فى وقت ما بأن تجعل حسابات النماذج مهمة تنظيم انبعاثات المداخن أكثر يسرا . فلو أمكننا أن نعين أية مداخن ، وأية أنابيب عادم تسهم فى توصيل الأحماض إلى البحيرات الحساسة ، لاستطعنا أن نركز اهتمامنا على مصادر المتاعب ، بدلا من الاهتمام بتنظيم غير ذلك من المصادر وصرف الأموال عليها . ولكن تذكرنا كل من النماذج والقياسات بأن الرياح ليست ثابتة ، ولهذا فإنه على مدار عدة سنوات تسهم الكيماويات الناتجة من مصدر واحد ، فى الحمض فى كل البحيرات فى منطقة واسعة ، وقد تستقبل بحيرة واحدة أحماضا من عدة مداخن فى كل اتجاه . وبالإضافة إلى ذلك فإن تحول ثانى أوكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين إلى الكبريتات والنيترات والأحماض ، تتحكم فيه بعض الملوثات الأخرى مثل الأوزون وفوق أوكسيد الهيدروجين والتى تتولد بدورها من ملوثات أخرى مثل أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات . وكانت النماذج ضرورية للحصول على فهم عام لهذا الموقف المعقد ، ولكن الرسالة الموجهة لمن سيقومون بالتنظيم كانت رسالة صعبة ، ومؤداها أن عليهم إيجاد طرق لتقليل

انبعاث كثير من المواد من جميع المصادر فى منطقة شاسعة الأرجاء .

ولم تكن الأخبار بأفضل من ذلك لدى العلماء الذين يدرسون الطرق المتنوعة التى يشق بها الكبريت ، وبعض المركبات الأخرى ، طريقهما خلال الأنظمة الحية . وقد أتضح مثلا ، أن الأسماك فى البحيرات الحمضية ، يصيبها ضرر مباشر من الأحماض فى خياشيمها وأجسامها ، ولكنها تعانى كذلك من تأثيرات غير مباشرة . فعندما تمر الأمطار الحمضية خلال التربة فى طريقها إلى بحيرة ما ، فإنها تذيب الألومنيوم الذى يكون فى حالته الطبيعية مرتبطاً بقوة بحبيبات التربة ، وتحمله إلى البحيرة حيث يؤدى إلى تسمم أنواع من الحياة البحرية . وقد تبين أن وجود الحمض فى المطر يؤدى كذلك إلى تغير صفات التربة بطرق أخرى ، وإلى التأثير فى الكائنات الدقيقة التى تساعد على الاحتفاظ بخصوبة التربة ، كما يدمر الجذور الصغيرة التى تستخدمها النباتات فى الحصول على غذائها .

وتختلف النباتات كثيرا فى استجابتها لثانى أوكسيد الكبريت الذى لم يتحول بعد إلى حمض الكبريتيك ، فبعضها يتلف بسهولة ، وبعضها الآخر يكون أكثر مقاومة . وإذا أخذنا فى الاعتبار ميل الطبيعة للبقاء ، فإن النظام الأيكولوجى الذى يتعرض لجرعات يومية من ثانى أوكسيد الكبريت ، لابد وأن يغير من توزيع مجتمع النباتات داخله . وبالإضافة إلى ذلك ، تتفاعل مركبات الكبريت فى الهواء مع الأوزون وفوق أوكسيد الهيدروجين ، وكل من هاتين المادتين يمكن أن تسبب ضررا للمادة الحية . ولقد طال بنا الحديث بعيدا عن موضوع السحب الكثيفة لثانى أوكسيد الكبريت فى تل النحاس التى كانت تقتل الأشجار مباشرة وتسمم التربة . ونظرا لأن كل مصدر يطلق قائمة من الكيماويات ، فإن كل شىء حى يعانى قائمة من الأضرار .

وعلى الرغم من التقدم السريع الذى تحقق فى فهم التفاعلات المعقدة للكبريت وأكاسيد النيتروجين فى الغلاف الجوى وفى الأنظمة الحيوية ، فإن كثيرا من مناقشات السياسة الخاصة بها بقيت عند خط البداية . إذ يتساءل البعض : ما الذى سيحدث إن لم يستطع فرد ما أن يحصل على سمكة ؟ وطبقا لقول أحد المسؤولين في الحكومة الأمريكية ، فإن وضع معدات تنظيف على المداخن المنتجة للكبريت سوف يتكلف ستة آلاف دولار مقابل كل سمكة يتم إنقاذها . ومثل هذه المجادلات ضيقة الأفق قد عطلت ، لمدة عشر سنوات تقريبا ، أى نهج قومى متضافر لتقليل الأمطار الحمضية ، أو أى اتفاقية مع كندا لاتخاذ خطوات لتنظيف الهواء تحقق منافع مشتركة . وأى تقدير متزن لاتساع وتعقيد مشكلة التفاعل بين الملوثات والكائنات الحية ، وزيادة الكبريت وأكاسيد النيتروجين ، على المدى الطويل ، فى الغلاف الجوى للأرض ، كان لابد أن يجعل هذا المسؤول ينظر إلى السمكة المسممة على أنها مجرد بداية لأضرار كثيرة قادمة ، مثلها فى ذلك مثل قمة جبل الجليد السابح فى الماء . وقد تطلب الأمر فى الحقيقة بضع سنوات لكى تتضح لنا صحة هذه القضية .

وفى مطلع الثمانينات ، بدأت بعض التقارير تخرج من ألمانيا تفيد أن الأشجار تموت دون سبب فى الغابة السوداء ، ولاحظت مناطق أخرى فى أوروبا وقائع مماثلة . وقد ثار الشك فى أن الأمراض أو الحشرات أو الجفاف أو الجو الدافىء غير المعتاد ، أو البارد غير المعتاد ، هى السبب فى حدوث هذه الأضرار ، ولكن لم يمكن إقامة دليل مقنع على مسؤولية أى منها . وقد كان التغير مثيرا ، ففى عام ١٩٨٢ قُدر أن نحو ٥ فى المائة من أشجار الغابة السوداء قد دمرت ؛ وفى عام ١٩٨٥ بينت القياسات أن نحو ٥٠ فى المائة منها قد أصابها الدمار .

. وفى نفس الوقت سُجلت مشاهدات مماثلة فى شرق الولايات المتحدة وجنوبها الشرقى . وأوضحت دراسة حلقات الأشجار فى الغابات الحية ، أنه بينما كان يمكننا بسهولة خلال العقود السابقة ، أن نعزو التذبذبات فى نمو الأشجار إلى سنوات من الجو المناسب أو غير المناسب ، فإن التغيرات السالبة الحديثة فى نموها لا يمكن أن تعزى إلى ذلك . ويتركز الاهتمام حاليا مرة أخرى على الآثار التى تسببها المركبات الضارة فى الهواء : مثل التدمير المباشر لأوراق الأشجار العادية والإبرية بسبب ثانى أوكسيد الكبريت وفوق أوكسيد الهيدروجين ، وبصفة خاصة الأوزون ؛ والضرر الذى يلحق بالجذور من جراء وجود الأحماض فى التربة ؛ وتأثير الألومنيوم الذى تطلقه الأحماض فى التربة ؛ وتأثير التسميد المفرط الناجم عن النيترات التى تصل إلى التربة عن طريق الهواء ؛ وتفاعل الأشجار التى أضعفتها هذه الأحداث مجتمعة مع تقلبات الجو الحادة والمتكررة ، والهجوم المعتاد للحشرات والبكتريا والفطريات . وقد كشفت هذه الدراسات الحديثة كذلك ، عن أن قطرات الماء فى الضباب أو فى السحب ، قد تكون أكثر حمضية من ماء المطر ، وأن هذه القطرات الدقيقة التى قد تكون حموضة بعضها فى قوة حمض البطاريات ، يمكن أن تسبب ضررا ودمارا لأوراق الأشجار العادية والإبرية بأكثر مما يفعله التعرض للغازات الملوثة . وقد ساعد هذا الاكتشاف على تفسير السبب فى أن الأشجار فى مناطق خطوط العرض المرتفعة التى تغطيها السحب عادة ، بدت أكثر تعرضا للدمار من غيرها . وهكذا ، فقد ثبت أن موت الأسماك فى البحيرات السويدية والكندية ، هو بمثابة الإشارة الأولى فقط للتغيرات الكاسحة فى الأنظمة الايكولوجية الطبيعية التى تسببها الانبعاثات الصناعية .

وهذه الاكتشافات الحديثة كلها تجعل تصميم أى علاج أمرا أكثر

صعوبة كما تجعله أكثر ضرورة . ولا يكفى وضع استراتيجية واحدة للتحكم فى الملوثات ، لأن هناك عدة ملوثات مسؤولة عن هذه الأضرار . ونظرا لأن هناك عدة مسارات جوية وبيولوجية ، فلا يكفى كذلك علاج واحد للبحيرات أو للغابات ، لكى يجعلها تبرأ من هذا الضرر . ونظراً لأن هناك قطاعات هامة من مجتمعاتنا الصناعية تخلق الملوثات ، فإن إحداث أى تغيير سوف يلقى مقاومة .

ومن أولى الخطوات فى اقتراح علاج ما ، هو أن نقرر مدى التخفيض المطلوب فى انبعاث الملوثات . وليس من المتوقع أن نتمكن من تخفيض انبعاثات المواد الضارة إلى الصفر ؛ كما أنه من الواضح أن انبعاثات اليوم تزيد كثيرا على الحد . فأى مستوى بين هذين الحدين الأقصيين يجب أن نتوقف عنده ؟

وبصفة عامة يمكننا أن نتصور أن النباتات والأنظمة الايكولوجية قد تكيفت للحياة مع كميات من الكبريتات المترسبة الناتجة من مصادر ما قبل الحضارة ، ولهذا فإنه إذا أمكننا تحديد الانبعاثات بنحو ٥ فى المائة ، أو ١٠ فى المائة زيادة على هذه الرواسب ، فإنه من المحتمل ألا نتسبب فى حدوث ضرر ما . وتشير قياسات جرينلاند إلى أن المحيط الحيوى فوق مساحات شاسعة بعيدا عن المصادر الصناعية للكبريت ، سيكون قادرا على تحمل ما يزيد قليلا على ثلث المعدلات الحالية للترسيب . ولكن لكى نتمكن من تخفيض ترسيبات جرينلاند إلى مثل هذه الكمية ، فإن الأمر يقتضى خفض ٩٥ فى المائة من انبعاثات نصف الكرة الشمالى ، وهو إنجاز غير محتمل الحدوث .

وهناك نهج آخر ، وهو أن نسأل علماء النبات وعلماء الايكولوجيا أن يجيبوا عن سؤال مختلف : ما هو معدل الترسيب الذى يمكن لأغلب الأنظمة الايكولوجية أن تتحمله فى أغلب المواقع ؟ وبالنسبة للكبريت ،

فإنهم يخلصون إلى أن تحديد الترسيب بسبعة عشر كيلوجراما من الكبريتات لكل هكتار فى السنة ، سوف يمنع الضرر الواضح لجميع الأنظمة الايكولوجية ، فيما عدا الأنظمة الايكولوجية المائية الأكثر حساسية . وكان بعض الباحثين الآخرين أكثر حذرا ، وأوصوا بخفض الترسيبات إلى عشرة كيلوجرامات لكل هكتار فى السنة ، وذلك بالمقارنة مع الترسيبات السنوية اليوم التى تصل إلى ٢٠ ـ ٥٠ كيلوجراما لكل هكتار فى السنة ، فى شرق الولايات المتحدة وفى أوروبا الغربية (وللتذكرة ، فإن القواعد التنظيمية الحالية تحرم بالفعل انبعاثات الكبريت الأكثر من ذلك ، وبالتالى معدلات الترسيب الأعلى من ذلك) . وقد استُنبطت هذه النتائج والتوصيات ، بشكل أساسى ، من دراسات شاملة أُجريت على البحيرات والأسماك ـ فى المواقع التى تمت فيها دراسات مطولة لأضرار الأمطار الحمضية ـ ولم تستنبط من الغابات المدمرة حيث كانت الأسباب والنتائج أكثر تعقيدا . ولا تنطبق هذه الحدود المقترحة على حمض النيتريك ، الذى لم تفهم تفاعلاته بنفس القدر بعد .

وأيا كان الهدف الدقيق ، فإن الخطوة الأولى لخفض مستويات الكبريت فى الهواء بسيطة ، وهى استعمال فحم أقل . ولا تحتاج هذه الخطوة إلى تقشف كبير أو إلى قوة نووية ، ولكنها تحتاج مجرد الاعتراف بأن كثيرا من قوى الكهرباء المولدة بالفحم تستعمل استعمالا غير كفء ، وأنه بتحسين كفاءة الطاقة يمكن أن نقلل من مشكلات الغلاف الجوى ونوفر المال فى نفس الوقت . وتخفيض استعمال الوقود الأحفورى ، جزء من استراتيجية أكبر لحل مشكلات الغلاف الجوى الأكبر حجما ، وسيتم تناولها بتفصيل أكثر فى الفصل السابع . وفى الوقت نفسه ، فإن مشكلة الأمطار الحمضية توضح مدى الارتباط الشديد بين كل من الغلاف الجوى والمحيط الحيوى ، وكيف أن التغيرات التى

قد تبدو صغيرة فى الغلاف الجوى ، يمكن أن تسبب ضررا معقدا للكائنات الحية .

ومن المحتم أننا سوف نضطر فى نهاية الأمر إلى أن نأخذ فى الاعتبار الأثر الكلى للمواد التى نطلقها فى الهواء - كمستهلكين ، أو كقائدى سيارات ، أو كصناع - على المحيط الحيوى . ولكن فى الوقت الحالى مازال النقاش حول الأمطار الحمضية متركزا بشكل كبير حول الضرر الحادث للبحيرات فى شمال شرق الولايات المتحدة وفى شرق كندا ، والذى يسببه الكبريت ، وحول طرق التصحيح المتنوعة ، ومن يتحمل تكلفتها . ولكن سواء تركز جدل السياسة على الضرر قصير الأمد والضرر الإقليمى ، أو على التفاعلات الأكثر شمولا المعروف أنها تحدث الآن ، فإن الإجابة واحدة : تدل جميع الشواهد على أننا يجب أن نقلل بشدة من انبعاثات الكبريت وأكاسيد النيتروجين إلى الغلاف الجوى .

كذلك فإنه مما يتفق ومقتضيات العقل أن ندرك أنه مهما كان قرار الناس أو الدول حول ما سوف يفعلونه بالكبريت فى الهواء ، فإن سجل قرارهم هذا سوف يختزن لآلاف السنين القادمة فى ثلوج جرينلاند .

الفصل الثالث
أوزون الاستراتوسفير (*)

الضرر الذى يصيب طبقة الأوزون فى أعالى الغلاف الجوى من جراء أنشطة البشر ، معقد وغامض ، ويخفى على الجميع إلا العلماء الذين يدرسون هذه القضية . ومع ذلك ، فإن الناس ، حول العالم ، الذين لم يسمعوا مطلقا بكلمة **أوزون** قبل عشرين عاما ، يعتريهم القلق الآن حول اختفائه .

إذ يلعب الأوزون فى أعالى الغلاف الجوى ، دورا هاما بالنسبة للحياة على سطح الأرض ، وبالنسبة لتركيب الغلاف الجوى . فعندما تصل أشعة الشمس القوية إلى أعالى الغلاف الجوى ، فإنها تحطم جزيئات الأوكسجين إلى ذرتى أوكسجين ، ويعاد تجميع أغلب هذه الذرات ، ليس على هيئة الأوكسجين المعتاد ، ولكن على هيئة جزىء من الأوزون يتكون من ثلاث ذرات من الأوكسجين . ويتحطم الأوزون ويتحول مرة أخرى إلى الأوكسجين خلال مجموعة مختلفة من التفاعلات .

(*) الاستراتوسفير : الجزء الأعلى من الغلاف الجوى . (المعرّب)

والتركيب الجزيئى للأوزون ، يسمح له بامتصاص نوع معين من ضوء الشمس فوق البنفسجى ، ولولا ذلك لكان يمكن لهذا الضوء أن يصل إلى سطح الأرض ويؤثر فى المادة الحية . والأشعة التى تثير أكبر الاهتمام تعرف عادة باسم الأشعة فوق البنفسجية - الفئة (ب) ، وهى تشمل موجات الضوء التى يقع طولها بين ٢٨٠ و ٣٢٠ نانومتر(*) . وتصل الموجات الأطول من ذلك إلى أعماق الغلاف الجوى ، ولكنها أقل قدرة بكثير على إحداث تغيرات بيولوجية . والموجات الأقصر من ذلك ، يغلب امتصاصها تماما فى الغلاف الجوى ، وبذلك لا يكون لها أثر بيولوجى كبير . وهكذا ، فإن دراسات التفاعل بين ضوء الشمس فوق البنفسجى والمادة الحية تتركز حول الأشعة فوق البنفسجية - الفئة (ب) . ومن الممكن أن يسبب هذا الإشعاع حروقا شمسية وبعض سرطانات الجلد ، وأن يقلل من محصول فول الصويا ، ويدمر الأسماك التى تعيش بالقرب من سطح الماء . وتدل قدرة هذا الإشعاع على إحداث تغيير بالمادة البيولوجية ، على أن أى نسيج حى يتعرض له ، سوف يعانى من بعض الآثار .[١٢]

ويلعب الأوزون دورا هاما فى أعالى الغلاف الجوى ، بالإضافة إلى قدرته على حجب الأشعة فوق البنفسجية - الفئة (ب) . ذلك أن الأوزون بامتصاصه لضوء الشمس فوق البنفسجى ، يحجز الحرارة المصاحبة لهذا الضوء عند هذا المستوى من الغلاف الجوى ، وبذلك يخلق طبقة أكثر دفئا من الطبقات الأسفل منها مباشرة . وهذه المنطقة الثابتة التى تكونت بهذا الشكل هى الاستراتوسفير . وفى هذه الطبقة الثابتة تحدث التغيرات المثيرة للقلق . وبزيادة فهم العلماء للتفاعلات الكيميائية التى تؤدى إلى تكوين الأوزون أو تدميره ، أصبح واضحا أن

(*) النانومتر : جزء على ألف مليون من المتر . (المعرِّب)

كميات صغيرة نسبيا من بعض المواد يمكن أن تغير هذه التفاعلات ، وتغير بالتالى من كمية الأوزون فى الاستراتوسفير ، بشرط أن توضع هذه المواد فى أعالى الغلاف الجوى . وأَخْذ الكلور ، وهو عامل مساعد كيميائى فعال يمكن أن يغير الأوزون إلى الأوكسجين المعتاد ، يظهر فى الاستراتوسفير بتركيزات سريعة التزايد .

وتحتاج بعض التفاعلات الكيميائية إلى عامل مساعد (حفّاز) ، وهو مادة ضرورية لحدوث التفاعل بسرعة ، ولكنها لا تستهلك فى خلال هذا التفاعل . وتتعدد أنواع العوامل المساعدة فى الكيمياء الصناعية الحديثة . وتبنى فى الولايات المتحدة اليوم ، سيارات جديدة مزودة بـ « محولات العوامل المساعدة » فى أنابيب العادم ، لتحويل أول أوكسيد الكربون الموجود بالعادم ، وكذلك آخر جزء من الهيدروكربونات غير المحترقة ، إلى ثانى أوكسيد الكربون والماء . والعامل المساعد فى هذه الحالة عبارة عن شبكة حاجزة تحتوى على فلزات نفيسة ، ويحدث التفاعل على سطحها بسرعة تزيد عدة مرات على سرعته فى حالة عدم وجودها . والعوامل المساعدة يمكن أن تكون عالية الكفاءة ، وليس غريبا فى عمليات الهندسة الكيميائية الحديثة ، أن تشترك ذرة من ذرات العامل المساعد أو أحد جزيئاته فى التفاعل عشرة آلاف أو مائة ألف مرة ، قبل أن يقوم تفاعل جانبى غير مقصود بإزالة هذا العامل المساعد بصفة دائمة من العملية .

ويتكون الأوزون كل يوم ، خلال ساعات النهار ، بواسطة تفاعلات يحفزها ضوء الشمس الشديد . وفى كل يوم ، يتحطم جزء من كل الأوزون الموجود بالاستراتوسفير ، بتفاعله مع مواد كيميائية موجودة طبيعيا فى الاستراتوسفير . والكمية المتكونة من الأوزون ثابتة على وجه التقريب ، ولكن الكمية المدمرة منه تزداد كلما زادت الكمية الكلية

للأوزون . وتأخذ كمية الأوزون فى الازدياد حتى تتساوى الكمية المتكونة منه مع الكمية المدمرة ، وتصل بذلك إلى اتزان تقريبى . ولو أننا أدخلنا فى الاستراتوسفير مادة جديدة ، مثل الكلور ، الذى يحفز تدمير الأوزون ولا يحفز تكوينه ، فإن حالة جديدة من الاتزان يجب أن تتحقق ، تكون فيها كمية الأوزون أقل مما كانت عليه من قبل . ولو كانت المادة الجديدة عاملا مساعدا عالى الكفاءة ، مثل الكلور ، فإن كمية صغيرة جدا منها يمكن أن تُحدث تغيرا هاما فى طبقة الأوزون .

ويعد الاتزان بين ما يتكون من الأوزون وما يتحطم منه ، مثالا لظاهرة عامة فى الجيوفيزياء (*) ، ولكنه قد يبدو أمرا محيرا لكثير من غير العلماء . وضرب مثال توضيحى ، قد يجلى هذا الغموض .

لنفرض أن لديك برميلا فارغا من الصلب ، وأنك تصبّ فيه دلاء من الماء بمعدل جالون واحد فى الدقيقة . ولنفرض ، بالإضافة إلى ذلك ، أن هناك صفا من الثقوب الصغيرة ، مثل ثقوب المسامير ، بأحد جوانب البرميل . وبعد صب الجالون الأول من الماء فى البرميل ، يبدأ التسرب من الثقب الأسفل ، ولكن هذا التسرب سيكون أقل بكثير من أن يسمح بالتخلص من جالون كامل قبل إضافة الدلو التالى . وبهذه الطريقة سيرتفع مستوى الماء فى البرميل مع كل إضافة جديدة . ولكن فى الوقت الذى يرتفع فيه مستوى الماء فى البرميل ، يزداد التسرب قوة ، وذلك بسبب وجود ثقوب أكثر يحدث منها التسرب ، وكذلك لأن ضغط الماء على الثقوب السفلى يغدو أكبر . ونصل فى النهاية إلى نقطة يكون عندها التسرب الكلى مكافئا لجالون واحد فى الدقيقة ، وعند هذه اللحظة ، يتوقف سطح الماء فى البرميل عن الارتفاع ، لأن الكمية

(*) الجيوفيزياء : علم طبيعة الأرض . (المعرِّب)

الداخلة فى كل دقيقة تتساوى مع الكمية المتسربة إلى الخارج ـ وبذلك يتم الوصول إلى الاتزان . ويستمر هذا الاتزان طالما نصب الماء بمعدل جالون فى الدقيقة ، وطالما لا يتغير شيء فى الثقوب .

وهاتان السمتان فى هذه الصورة الواقعية ، وهما المدخلات الثابتة ـ أى الجالون الواحد فى الدقيقة ـ والمخرجات التى تعتمد على كمية المياه المتجمعة ـ أى التسرب الذى يزداد كلما ارتفع مستوى سطح الماء ، تشبهان حالات الغلاف الجوى المشروحة فى هذا الكتاب . والأوزون فى الاستراتوسفير له هاتان السمتان ، فكمية الأوزون التى تدخل كل يوم فى الاستراتوسفير ثابتة ـ وهى تعتمد كلية تقريبا على ضوء الشمس الشديد عند هذا الارتفاع ، ولا تتغير كثيرا من يوم لآخر . أما فقد الأوزون ، فهو يعتمد على مقدار الأوزون المتاح للتفاعلات المتنوعة التى تؤدى إلى تدميره ، وبهذا الأسلوب يتم الوصول إلى الاتزان .

ولدفع التماثل بين البرميل والاستراتوسفير لمدى أبعد قليلا ، فإن إضافة عوامل مساعدة كيميائية إلى الاستراتوسفير ، تشبه صنع ثقوب أكثر فى البرميل بينما نستمر فى صب الماء بنفس المعدل : جالون واحد كل دقيقة . وسوف يستقر سطح الماء فى البرميل عند مستوى أقل ، وهو اتزان جديد ، يكون فيه التسرب مرة أخرى جالونا واحدا فقط فى الدقيقة . وهكذا أيضا ، فإن إضافة عوامل مساعدة (حفّازة) إلى الغلاف الجوى ستتسبب فى خفض الكمية الكلية للأوزون .

والآن لدينا حلقات ثلاث من تسلسل منطقى طويل . فالكلور فى الاستراتوسفير يقلل من كمية الأوزون فيه . ووجود أوزون أقل فى الاستراتوسفير يعنى أن مزيدا من الضوء فوق البنفسجى سيخترق الغلاف الجوى . والزيادة فى الضوء فوق البنفسجى ستتسبب فى دمار أكبر للكائنات الحية على سطح الأرض . وهناك خط تفكير آخر يتعلق

بدور الأوزون فى تعريف الاستراتوسفير ، وإن كان يلقى اهتمام أقل من العلماء . فالكلور الموجود فى الاستراتوسفير يدمر الأوزون بدرجة أكبر فى بعض الارتفاعات عن غيرها . وأى تغيير فى توزيع الأوزون داخل الاستراتوسفير يؤثر فى تحديد الارتفاع فوق سطح الأرض الذى يصبح عنده الاستراتوسفير أكثر سخونة بضوء الشمس الممتص . ويؤدى التغير فى نمط تسخين الاستراتوسفير إلى تعديل مسار الرياح التى تهب فى هذه الارتفاعات ، وهكذا فهو يغير مناخ الاستراتوسفير ، كما يغير أيضا من توزيع الأوزون .

وعادة ما تكون هناك كمية صغيرة جدا من الكلور فى الاستراتوسفير . وقد يتسرب غاز الكلور أحيانا من بعض الحوادث فى الصناعة أو أثناء الشحن ، ولكن هذا الغاز يتفاعل بشراهة مع أى قطرة ماء أو جسيم يلامسه ، ونتيجة لذلك فهو يُستهلك قبل أن ينتشر إلى أعلى بزمن طويل . وتلقى أمواج المحيطات إلى أعلى بقطرات صغيرة من الماء الملح ، وقد يتبخر بعضها تاركا دقائق من الملح فى الهواء . وعلى الرغم من أن هذه الدقائق تحتوى على الكلور ، فإن فرصة صعود إحداها إلى مستوى طبقة الأوزون فى الغلاف الجوى قليلة ، نظرا لأن الملح سريع الذوبان ، ويتم غسل هذه الدقائق من الهواء بماء المطر بصورة سريعة . وتطلق بعض الأنظمة البيولوجية كلوريد الميثيل ، وهو غاز يحتوى على الكلور . ولكن هذا الغاز سريع التفاعل مع غيره من المواد ، ويختفى أغلبه قبل أن يتمكن من الانتشار إلى الاستراتوسفير . وهكذا فإن هناك حواجز قوية تمنع الكلور من الوصول إلى ارتفاعات عالية فى الغلاف الجوى ، اللهم إلاّ إذا حاول الناس وضعه هناك .[١٣]

ولو أننا رغبنا لسبب ما فى أن يصعد الكلور من سطح الأرض إلى الاستراتوسفير ، فإن علينا أن نرتب لانبعاث غاز يحتوى على الكلور

عند سطح الأرض . وعلينا بالإضافة إلى ذلك أن نجد غازا محتويا على الكلور لا يتفاعل بسهولة مع أى شىء ، ولا يكون سريع الذوبان ، ويكون عند وصوله إلى الاستراتوسفير سهل الكسر لإطلاق الكلور الحر بفعل الضوء فوق البنفسجى القوى فقط . (ولو أنه كُسر مبكرا بواسطة ضوء الشمس الذى يخترق طبقات الغلاف الجوى السفلية ، فإن الكلور الحر سيتفاعل مع شىء ما ، وتتم إزالته) . وهذه الخواص التى ذكرتها آنفا يمكن أن تجعل الغاز مفيدا جدا هنا فوق سطح الأرض ، وقد جاهد الناس بقوة للحصول على مادة مثل هذه .

وإذا لم يتفاعل غاز ما مع غيره من المواد ، فإن احتمال أن يكون ساما بالنسبة للناس الذين يستنشقونه عرضا ، يقل كثيرا ، كما يقل احتمال تآكل الأنابيب أو الأوعية التى تحمله أو يخزن فيها . ويمكن استعماله مثلا على هيئة غاز مضغوط فى العبوات الرشّاشة (السبراى) للمساعدة على دفع مستحضرات العناية بالشعر ، أو بعض المواد الأخرى دون أن يؤثر فى هذه المواد . ويمكن استخدامه فى ملء الفراغات الصغيرة فى مواد العزل الرغوية ، دون أن يتفاعل مع اللدائن أو يضر بالناس الذين يستعملون هذه المواد الرغوية . كما يمكن ببساطة ضغطه واستعماله فى نفض الغبار عن عدسات التصوير أو المعدات الالكترونية الدقيقة دون أن يخدشها أو يسبب ضررا لمن يستخدمه . ولو أننا استطعنا ، بالإضافة إلى ذلك ، أن نُسيِّل هذا الغاز عند درجات حرارة وضغط معقولين ، فإنه يمكن استخدامه فى نقل الحرارة من داخل أجهزة التكييف والمبردات ونشرها إلى الخارج . ويمكن إجراء ذلك دون خوف من تآكل المعدات ، ودون أية خطورة على الناس الذين يستعملون هذه المعدات ، حتى لو حدث وتسرب الغاز فى الغرفة أو فى السيارة التى يتم تبريدها .

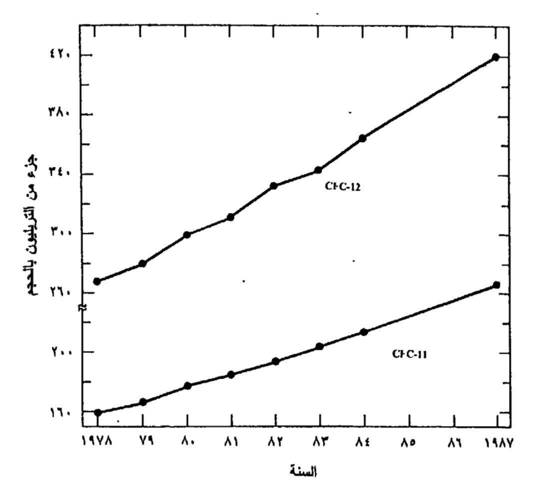
وقد قام كيميائيو المعامل بتخليق مثل هذه المواد منذ عشرات

السنين ، وهى تسمى مركبات الكلوروفلوروكربون ، ويبين هذا أنها تحتوى على الكربون والفلور والكلور ، وفى بعض الأحيان الهيدروجين . وعادة ما يختصر الاسم إلى CFC ، ويستعمل نظام ترقيم للدلالة على كمية كل عنصر فى جزىء CFC معين نقصده . ومثال ذلك CFC-12 به ذرة واحدة من الكربون ، وليست به ذرات من الهيدروجين ، وبه ذرتان من الفلور (وبالمثل ذرتان من الكلور) فى كل جزىء .

وقد أثبتت اثنتان من هذه المواد ، وهما CFC-11 و CFC-12 ، أهميتهما الكبيرة فى عدد من الاستخدامات ، حتى أنه تم تصنيع نحو ٢٠ مليون طن منهما على مستوى العالم . وأغلب هذه العشرين مليونا من الأطنان ، مازالت موجودة ، وهى إما أنها قد هربت إلى الغلاف الجوى ، أو ستفعل ذلك فى نهاية الأمر . وبمجرد وصول هذه المواد إلى الهواء ، فهى تختلط به وتنتشر فيه ، وتصل أخيرا إلى جميع أجزاء الغلاف الجوى . وتتعرض جزيئات CFC التى تجد نفسها فى الاستراتوسفير ، للإشعاع فوق البنفسجى الشديد القادم من الشمس ، وتنحل إلى أجزاء أصغر مطلقة للكلور . ويبدأ الكلور عندئذ مهمة جديدة كعامل مساعد فى التفاعلات التى تدمر الأوزون .

ويشير هذا الوصف الموجز بجلاء إلى أن هناك داعيا للانزعاج ، ولكنه لا يوضح لنا أن لدينا مشكلة فى حقيقة الأمر ، فهذا التوضيح يتطلب بيانات مؤكدة عن كمية مركبات CFC التى يتم إطلاقها ، وكم منها يصل إلى الاستراتوسفير ، وما هى كمية الأوزون التى يتم استنفادها بهذا الكم من CFC ، وما مدى الدمار الذى سينتج عن الزيادة فى الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) التى تصل لسطح الأرض ، وأين ؟

ويمكن الإجابة عن السؤال الأول بسهولة . ويبين شكل (٤) سلسلة من القياسات لتركيزات CFC-11 و CFC-12 ، فى الغلاف الجوى.[١٤] ويمكننا من هذه الأرقام تقدير الكمية الحالية للكلور فى الاستراتوسفير ، وكم سيوجد منه هناك فى المستقبل القريب . وتبين



شكل (٤) : قياسات تركيزات كل من CFC-11 و CFC-12 فى الغلاف الجوى ، التى أخذت فى ، راجد بوينت ، ببربادوس . ورسمت التركيزات بوحدات من الأجزاء من التريليون بالحجم . وتم رصد هذه الكيماويات فى عدد من المواقع حول العالم ، وجاءت النتائج متشابهة ولكنها غير متطابقة فى جميع المواقع . فالقياسات التى أخذت فى نصف الكرة الجنوبى مثلا ، أقل قليلا من تلك التى أخذت إلى الشمال من ذلك ، مما يوضح أن هذه الغازات تحتاج لبعض الوقت حتى تنتشر من المناطق التى ترتفع فيها الانبعاثات فى الدول الصناعية إلى الأجزاء الأخرى من العالم .

المنحنيات على الرسم البيانى أن تركيزات هاتين المادتين تزداد بسرعة كبيرة ، أكثر من ٥ فى المائة كل عام . (ولدواعى المقارنة ، فإن زيادة بنسبة ٥ فى المائة كل عام أسرع بثلاث مرات من معدل نمو « الانفجار السكانى » فى العالم) . وتزداد كمية رابع كلوريد الكربون فى الهواء بنسبة ١ فى المائة فى السنة ، وهو كذلك يمكن أن يبقى حتى يصل إلى الاستراتوسفير ويكوِّن هناك الكلور الحر . وقد أدرك الكيميائيون كذلك أن القدرة على حفز تدمير الأوزون لا تقتصر على الكلور وحده ؛ فالبروم أشد أثرا فى ذلك ، وقد بدأ اكتشافه فى الهواء كجزء من عائلة من المواد تسمى بالهالوجينات التى كانت تستخدم بتوسع فى طفايات الحرائق .

والرد على الأسئلة الأخرى أكثر صعوبة ؛ لأن تغيرات الاستراتوسفير ليست تغيرات كيميائية بحتة . فعلى سبيل المثال فإن الأوزون يوجد فوق قطبى الأرض فى خلال الليل القطبى الطويل على الرغم من غياب ضوء الشمس ، وذلك لأن رياح الاستراتوسفير تنقل الأوزون إلى المنطقتين القطبيتين . بالإضافة إلى ذلك ، وكما ورد فى ثانى « سياق منطقى للضرر المحتمل » ، فعندما يضاء جزء من الاستراتوسفير بضوء الشمس ، فإن الأوزون يمتص أغلب الطاقة التى تعمل على تدفئة الغلاف الجوى ، وبالتالى تحرك الرياح . وهكذا ، فإنه من الضرورى أن نفهم العلاقات القائمة بين الأوزون ، وضوء الشمس ، والرياح ، والكيماويات التى كانت دائما هناك ، والكيماويات التى تضاف الآن إلى الاستراتوسفير بفعل أنشطة البشر .

والطريق إلى فهم أفضل لهذه التفاعلات المعقدة ، يقود إلى خليط من الأنشطة النموذجية للبحوث العلمية اليوم : مثل إجراء قياسات فى الغلاف الجوى (كم يوجد من مادة معينة ، وأين ؟ وهل يزداد أم

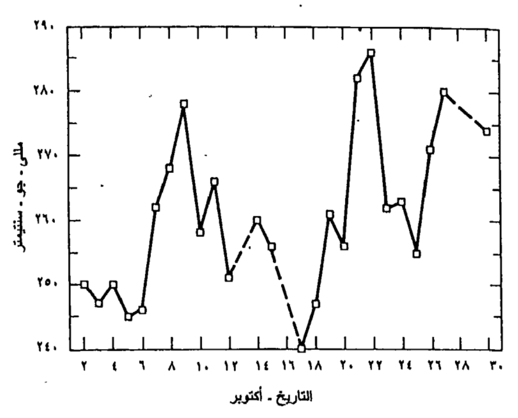
ينقص ؟) ، وفى المعامل (بأى سرعة يتفاعل أ مع ب ، وأى نوع من الضوء تمتصه ب ؟) وابتكار بعض التقنيات للربط بين النظرية والقياسات . وكما فى حالة دراسات انتقال الكبريت والأمطار الحمضية ، فإن التقنية المطلوبة لبناء ما نعرفه حول كيمياء الاستراتوسفير ، تحتاج إلى وضع نماذج رقمية .

ولحساب مقدار الأوزون الذى سيتم تدميره بقدر معين من الكلور فى الاستراتوسفير ، يمكن للباحث أن يستعين ببساطة بنتائج قياسات المعمل الخاصة بكفاءة الكلور كعامل مساعد ، ويضمها إلى قياسات كمية الكلور فى الاستراتوسفير ، ويقدر الفقد فى الأوزون . ومع ذلك فإن هذا الحساب لن يزيد كثيرا على الحدس ، لأن مثل هذه الحسابات لا تسمح بمراعاة وجود عمليات مهمة أخرى . ومثال ذلك ، إذا دُمر بعض الأوزون ، فإن مزيدا من الأشعة فوق البنفسجية - الفئة (ب) ، سوف يتمكن من الوصول إلى مناطق أقل ارتفاعا فى الغلاف الجوى ، وهناك يثير تفاعلات كيميائية يؤدى بعضها إلى تكوين أوزون جديد . وعندئذ أيهما ستكون أكبر : كمية الأوزون المدمّرة ، أم كمية الأوزون التى تم تخليقها ؟ وهناك مثال آخر ، إذ يعتمد عدد المرات التى تقوم فيها ذرة كلور بحفز تدمير الأوزون ، على بعض المواد الأخرى الموجودة فى الاستراتوسفير والتى تزيل الكلور - مثل الماء ومركبات النيتروجين - وهى مثل الأوزون تنتقل فى كل مكان بفعل رياح الاستراتوسفير . فكم يوجد من كل من هذه المواد عند الارتفاعات المختلفة فوق مكان بعينه ؟ وتقدير أثر كل من هذه العمليات ، وكثير غيرها ، يقودنا فى الحال إلى تعقيد يسبب البلبلة ، حيث أن كل عملية ، بالإضافة إلى كونها معقدة فى حد ذاتها ، ينبغى حسابها مع العمليات الأخرى ، وليس منفصلة عنها . والحل المناسب لهذه الصعوبة يكمن فى استعمال الذاكرة الكبيرة والقدرة على الحساب السريع للحاسبات الآلية الحديثة . وبدون نماذج رقمية ،

فسوف يكون الأمل فى قدرتنا على تقدير آثار مركبات CFC على أوزون الاستراتوسفير بثقة كاملة ، أملا ضئيلا .

وقد صمم العلماء مثل هذه النماذج ، وزادوا من تعقيدها تدريجيا كلما تعرفوا على سمات جديدة لمشكلة الأوزون ، وتم زيادة دقة الأعداد المستعملة لوصف كل عملية بإجراء قياسات معملية باستمرار . ويبين المستوى الحالى للفهم ولوضع النماذج ، أنه إذا استمر تصنيع مركبات CFC وإطلاقها بالمعدل الحالى ، فإن الأوزون الكلى فى الاستراتوسفير سينخفض بنسب مئوية كبيرة . ومن المقدر أن كل نقص فى الأوزون الكلى بنسبة واحد فى المائة ستقابله زيادة بنسبة ٢ فى المائة فى الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) ، عند سطح الأرض ، وزيادة بنسبة ٤ فى المائة فى حالات سرطان الجلد فى الإنسان .

ويتراءى التعقيد المسيطر على نماذج الاستراتوسفير ، وعلى مناقشات الضرر المحتمل ، حتى فى أبسط قياسات الأوزون . والقياسات اليومية (شكل ٥) لكمية الأوزون فى الاستراتوسفير فوق مكان واحد ، وهو فى هذه الحالة قمة أحد الجبال فى سويسرا ، توفر دليلا على ذلك .[١٥] وأول ما يلاحظه المرء ، هو أن كمية الأوزون كثيرة التغير (تذبذبت خلال الشهر المبين بنحو ١٧ فى المائة) ، ولذلك قد يصعب اكتشاف النقص فى المتوسط السنوى بنسب مئوية قليلة . وهناك فكرة أخرى ترد للخاطر عندما ننظر إلى هذه القياسات : وهى أن النباتات والحيوانات استمرت فى الحياة فى سويسرا ، وعلى هذا فمن الواضح أنها تستطيع أن تحيا ساعات أو أياما فى ظل تركيز منخفض من الأوزون ، وبالتالى فى ظل قدر يزيد على المتوسط من الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) . وإذا كان النقص فى الأوزون فى حدود نسب مئوية قليلة ، فستغطى عليه تغيرات طبيعية أكبر ، وإذا كانت الكائنات



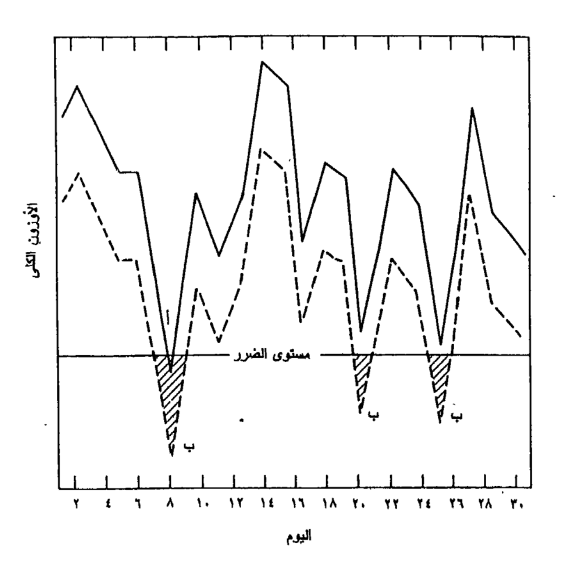
شكل (٥) : قياسات الكمية الكلية للأوزون فوق محطة مراقبة فى « آروزا » بسويسرا . الوحدات المستخدمة فى هذه القياسات هى مللى - جو - سنتيمتر ، وهى تصف مدى سمك طبقة الأوزون فوق الموقع لو أنها ضغطت إلى قدر الضغط القائم عند مستوى سطح البحر . ووضعت فى درجة حرارة الصفر المئوى . فمثلا ٢٥٠ وحدة تعنى طبقة سمكها ٠,٢٥ سم . وتبين هذه القياسات التغيرات النمطية من يوم لآخر . ويتغير الأوزون كذلك فى خلال العام (يبلغ أقصاه فى الربيع ، وأدناه فى الخريف ، بالنسبة للمواقع بخطوط العرض المتوسطة والمرتفعة) ، وهناك تغيرات أخرى إضافية من عام لآخر . ويبين الرسم البيانى القياسات اليومية ويصل بينها خط ثقيل متصل ، أما الخط المتقطع فيصل بين القياسات التى أخذت فى أيام متفرقة وليست متصلة .

الحية تستطيع أن تحيا فى ظل تذبذبات واسعة فى كمية الأوزون ، فلماذا يساورنا القلق حول زيادة طفيفة فى الأشعة فوق البنفسجية - الفئة (ب) ؟

وحتى مع وجود تذبذبات كبيرة الحجم ، فهناك على الأقل طريقتان

يمكن فيهما للزيادة فى متوسط الإشعاع فوق البنفسجى على سطح الأرض أن تدمر المادة الحية : إذا استجابت التفاعلات البيولوجية للجرعة المتراكمة ، أو إذا استجابت الكائنات إلى الأحداث القصوى . ومثال ذلك ، أن الذين يمضون وقتا طويلا خارج منازلهم ، معرضون للإصابة بسرطان الجلد أكثر من غيرهم . وتحدث هذه الإصابات السرطانية على أجزاء من الجسم ، مثل الوجه ، الذى يكون معرضا عادة للشمس . ويمكن تفسير هذه الملاحظة بافتراض أن الجلد يجب أن يتلقى جرعة كلية معينة من الضوء ، ربما لعدة سنوات ، قبل أن ينشأ به السرطان . وإذا كان هذا التفسير صحيحا ، فإن أى زيادة فى كمية الضوء فوق البنفسجى الذى يصل إلى سطح الأرض ، حتى ولو كانت هذه الزيادة أصغر من التذبذبات المعتادة ، سوف تؤدى إلى قصر الوقت اللازم لتجميع الجرعة الحرجة من ضوء الشمس ، وبالتالى تزيد من حدوث سرطان الجلد .

وربما تظهر سرطانات الجلد ، بدلا من ذلك ، عند تعرض الجلد لوقت قصير للإشعاع فوق البنفسجى الشديد الذى يصل فى تلك الأيام التى ينخفض فيها الأوزون إلى أقل مستوى له خلال العام . وفى هذه الحالة ، فإن كل ما يهم هو احتمال أن يكون الأوزون شديد الانخفاض فى اليوم الذى يكون فيه الفرد خارج منزله وجلده عاريا . والنقص فى متوسط الأوزون (مرة أخرى حتى ولو كان التغير أصغر من التذبذبات الطبيعية) قد يغير احتمال وقوع حدث حاد ، يكون فيه الإشعاع فوق البنفسجى أكثر قوة من المعتاد ، وقد يتم ذلك بصورة مثيرة . ويوضح شكل (٦) هذه النقطة : فإذا تغير متوسط كمية الأوزون ، وبالتالى شدة الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) ، بقدر بسيط ، فإن عدد النقاط المنخفضة التى تسمح بتجاوز المستوى « الضار » من هذه الأشعة ، يزداد بنسبة كبيرة .



شكل (٦) : تأثير نقص صغير فى متوسط كمية الأوزون على معدل تكرار هبوط الأوزون تحت المستوى الذى يحدث بعض « الضرر » . ويمثل الخط المتصل مجموعة افتراضية من القيم اليومية للأوزون الكلى فوق موقع ما ، ويشبه هذا القياسات الفعلية فى شكل (٥) . وفى إحدى المرات خلال هذا الزمن تنخفض القيمة عند « أ » إلى ما دون المستوى الذى يسبب ضررا . أما الخط المتقطع فهو يمثل المنحنى الذى سينتج إذا انخفضت كل كميات الأوزون بنحو ٣ فى المائة بفعل ملوثات الأستراتوسفير . ويقفز عدد المرات التى تصل فيها القيم إلى مستوى الضرر من مرة إلى ثلاث مرات (موضحة فى ب) ويبقى كذلك لمدة طويلة من الزمن . ويحدث هذا حتى بالرغم من أن النقص فى المتوسط ، وهو ٣ فى المائة ، أصغر بكثير من التذبذبات المعتادة .

والأثر المباشر على الناس لهذه الزيادة المقدرة مستقبليا فى متوسط كمية الإشعاع الناتج من الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) ، لا يمكن حسابه ، نظراً لأن العلماء لا يعرفون إلى أى مدى سيغير الناس من سلوكهم . ففى الشتاء يرتدى الناس معاطف ثقيلة لحماية أنفسهم من البرد ، وربما يرتدون فى الأزمنة القادمة القبعات والنظارات الشمسية ، والأكمام الطويلة لحماية أنفسهم من الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) . وحتى الآثار الثانوية قد يمكن تعديلها بواسطة عمل الإنسان . ولنفرض أن كمية الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) التى ستصل إلى سطح الأرض فى عام ٢٠٣٠ ستكون أكبر مما يلزم لإنتاج فول الصويا اقتصاديا ، ونظرا لأن جماعات المزارعين لها تاريخ طويل فى التحول من محصول إلى آخر ، إذا تغيرت الظروف الجوية أو الاقتصادية ، فإن وقع التغير على الزراعة قد يكون أصغر مما نظن . وقد تقع الضربة الرئيسية على المحيط الحيوى غير المعتنى به ـ مثل الغابات والمراعى ، والفيتوبلانكتون (*) ، والأسماك التى تتغذى مما يوجد على السطح . وقد تطور كل من هذه الأنظمة الايكولوجية بطريقة تسمح له بتحمل الكميات التى تكونت تاريخيا من الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) ، والزيادة فى هذه الكميات لابد أن تحدث تغييرا : مثل استبدال الأنواع الحية الحساسة بأنواع أخرى أكثر مقاومة ، وظهور معدلات نمو أقل لكل الأنواع ، وحدوث تغيرات فى سلوك الأنواع المتنقلة . ويبين التاريخ المنقضى للأرض ، أنه على مر آلاف أو ملايين السنين ، تنشأ أنواع جديدة وتتطور أنظمة ايكولوجية جديدة لتعيد إنتاجية المحيط الحيوى على الرغم من الأشعة فوق البنفسجية ـ الفئة (ب) المضافة . ولكن مع تغير الظروف التى نتوقعها فى خلال عشرات السنين القادمة ،

(*) **الفيتوبلانكتون** : عوالق نباتية فى الماء . (المعرّب)

فإن هذا التطور لا يمكن أن يفيد ، ويقع عبء التكيف مع البيئة الجديدة على عاتق الناس وحكوماتهم . وإذا كانت هذه المهمة واجبة التنفيذ ، فإنه يجب إبطاء المعدل الذى تحدث به التغيرات .[١٦]

وقد اتخذت خطوات مبدئية فى هذا الاتجاه ، فقد اتفق ممثلو أغلب الدول المصنعة لمركبات CFC فى عام ١٩٨٥ على أن هذه المركبات قد تكون ضارة ، وأنهم سوف يتبادلون البيانات ويشجعون البحوث . وقد جاءت هذه الاتفاقية تتويجا لسنوات عديدة من الجهد الذى قام به أعضاء برنامج الأمم المتحدة للبيئة ، لوضع بعض الحدود على إنتاج الكيماويات التى تسبب ضررا لطبقة الأوزون . ولم تضع هذه الإتفاقية أية حدود ، ولكنها فتحت على الأقل قنوات للاتصال بين الدول . ثم جاء اكتشاف مثير ، فابتداء من آخر السبعينيات ، لوحظ أنه خلال شهر من كل سنة ، تتناقص الكمية الكلية للأوزون فى الاستراتوسفير فوق القارة القطبية الجنوبية ، بصورة حادة ، وبكمية أكبر كل عام . وانقضى بعض الوقت قبل أن يتم الاعتراف بهذه الظاهرة ، ولكن بحلول عام ١٩٨٧ ، كان لا يمكن أن نخطئها . فقد انخفض الأوزون الكلى فوق بعض المواقع بنسبة ٦٠ فى المائة خلال فصل الربيع فى نصف الكرة الجنوبى ، وعند بعض الارتفاعات كان أغلب الأوزون قد دمر تماما .

وهذا النقص الذى حدث فى ربيع القطب الجنوبى أول الأمر ، لاحظه العلماء فى محطة أرضية فى القارة القطبية الجنوبية ، عندما كانوا يقيسون الكمية الكلية للأوزون فوق الموقع . وعند فحص البيانات الواردة من الأقمار الصناعية المدارية ، تبين أنها لم تؤد فقط إلى إثبات حدوث النقص ، بل أوضحت كذلك أنه كان ظاهرة واسعة الانتشار ، وليس حدثا محليا فقط فى موقع المحطة الأرضية . ونظرا لأن استنفاد الأوزون بمركبات CFC كان يناقش بتوسع فى هذا الوقت ، فقد اتجهت

الظنون فى الحال إلى أنها السبب فى حدوث « ثقب الأوزون » ، وتم حث العلماء على إثبات صحة ذلك أو بطلانه .

وقد سُرَّ مجتمع العلماء بتجدد الفرصة لدراسة الاستراتوسفير ، ولكن كانت هناك نواح غير مريحة فى الموقف . فعلى الرغم من أن كثيرا من الحسابات ، وعمليات المحاكاة بالنماذج ، قد أظهرت أن الأوزون لابد أن يتناقص بزيادة مركبات CFC ، إلاّ أن أيا منها لم يوضح السبب فى أن النقص يكون على أشده فوق القطب الجنوبى . كذلك لم يتوقع أى منها أن النقص سيكون بمثابة حدث عنيف يدوم شهرا واحدا ، كما لم يتوقع أى منها حدوث نقص كبير مثل الذى سبق ملاحظته . ومن الواضح أن هناك حاجة إلى إجراء مزيد من البحث . وقد تطلب الأمر إرسال بعثتين إلى خطوط العرض الجنوبية المرتفعة ، وإجراء قياسات فى القارة القطبية الجنوبية من الطائرات ، والبالونات ، والأقمار الصناعية ، ومن سطح الأرض . كما تطلب الأمر كثيرا من إعادة التفكير فى تفاصيل تفاعلات الاستراتوسفير ، لتفسير السمات الخاصة للمنطقة المحيطة بالقطب الجنوبى التى كانت تكثف من قدرة الكلور على تدمير الأوزون . وهواء الاستراتوسفير فوق القارة القطبية الجنوبية أبرد منه فوق الأماكن الأخرى ، مما يسمح لبلورات الثلج أن تتكون حتى رغم أن كمية الماء منخفضة جدا . وبالإضافة إلى ذلك فإن دوران الهواء حول القارة القطبية الجنوبية ـ الذى يقتصر حدوثه فوق المحيطات ، على خلاف الدوران فى نصف الكرة الشمالى ـ يتم بصفة دورية ومنتظمة ، فلا يشجع بذلك خلط هواء المنطقة القطبية الجنوبية بغيره من هواء خطوط العرض المنخفضة . وهكذا فإن استراتوسفير المنطقة القطبية الجنوبية يستطيع أن يختزن الكيماويات خلال الليل القطبى الطويل . وهذه الكيماويات تستطيع أن تتفاعل فوق سطوح بلورات الثلج ، وربما فى داخلها أيضا ، بسهولة أكثر عما إذا كانت على هيئة

غازات طليقة . ويؤدى مجىء الربيع وضوء الشمس إلى إطلاق وابل من عمليات تدمير الأوزون .

وبينما كان هذا الاهتمام المتجدد بالاستراتوسفير ينتج قياسات نشيطة متنوعة ، ويثير مناقشات نظرية حامية بين العلماء ، كانت هناك أحداث أخرى فى الطريق أدت إلى استنتاجات مثيرة .

وقد تضمنت الاتفاقية السابقة لتشجيع البحوث وتبادل البيانات الخاصة بأوزون الاستراتوسفير ، أحكاما لإجراء مزيد من المفاوضات حول كيفية الحد من انبعاث مركبات CFC فى الهواء . وكانت المفاوضات المتجددة تأخذ مجراها فى حين كانت تتزايد الإثارة العلمية الخاصة بثقب الأوزون . وعلى الرغم من أن المتفاوضين كانوا يشعرون بأنهم لا يعرفون سوى القليل عن مشكلة المنطقة القطبية الجنوبية بما لا يسمح بإدراجها فى مناقشاتهم ، إلاّ أن الدعاية حول ثقب الأوزون كانت تزداد شدة . وقد دعا بعض الناس إلى حظر استعمال المنتجات المحتوية على مركبات CFC ، ولكن الأمر الأكثر أهمية من ذلك هو أن الشركات الأمريكية التى تصنع هذه الكيماويات ، بدأت تعتقد أن استبعاد مركبات CFC أمر محتمل فى نهاية الأمر ، وأيدت اتفاقية لتحقيق هذه الخطوة . ونظرا لرغبة أقسام من الصناعة فى وضع بعض الحدود ، وطرح موضوع ثقب الأوزون فى كل جريدة ، فقد عقد المتفاوضون اتفاقية عاجلة - بروتوكول مونتريال - لتجميد أو تقليل إنتاج مركبات CFC والهالوجينات التى لها القدرة على تدمير أوزون الاستراتوسفير .

وتكشف تفاصيل هذه الاتفاقية أنواع العوائق التى كان يجب تخطيها للوصول إلى اتفاق عام فى الآراء . وقد دخلت كل دولة صناعية فى هذه المفاوضات تحدوها رغبتان : خفض مركبات CFC فى الهواء

بدرجة تكفى لمنع حدوث كارثة ، والخروج من المفاوضات دون المساس بإنتاجها من مركبات CFC ، لأن صنع مركبات CFC واستخدامها استثمار مربح . ودخلت كل دولة نامية جلسات المفاوضات تحدوها رغبة مماثلة فى تجنب حدوث مأساة ، ولكن أيضا بشعور قوى أنه ليس من العدل الحد من نشاط مربح أو منعه قبل أن تكون لدى العالم الثالث فرصة للاشتراك فيه . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن كل حكومة مشتركة فى المفاوضات كانت لها سياسة خاصة ، وعلاقة ما بصناعات CFC داخل حدودها ، وبعض الدول كانت طرفا فى كيانات أكبر مثل الاتحاد الأوروبى الذى قدم تنظيمات خاصة بالضوابط . وعلى هذا فإن الاتفاقية الناتجة كانت حلا وسطا معقدا ، فهى تميز بين الدول النامية والدول المتقدمة ، وتسمح بفروق نوعية بين الدول المتقدمة نفسها ، وكان معدل التخفيض أبطأ مما يأمل أغلب خبراء الاستراتوسفير . وبدأ العمل بالاتفاقية فى أول يناير ١٩٨٩ ، ووقع عليها مندوبو أغلب الدول الصناعية ، ولكن دون اشتراك دولتين من الدول النامية العملاقة ، وهما الهند والصين .

ولا يمكننا أن نحدد بدقة ماذا سيكون عليه تأثير هذه المعاهدة .[١٧] وتأتى أكثر التقديرات تفاؤلا ممن يتذكرون أن استخدام مركبات CFC فى رشاشات الايروسول فى الولايات المتحدة قد انخفض بشكل حاد فى السبعينيات ، قبل أن يكون هناك أى تنظيم يستدعى إجراء هذا التخفيض . ولا تتحمس الصناعة لمنتجات يتقرر تخفيض مبيعاتها ، ولهذا فبمجرد أن شعرت باحتمال هذا التخفيض ، فإنها لم تقدم بسرعة بدائل لرشاشات CFC فقط ، ولكنها وصفت هذه البدائل بحماس فى الإعلانات على أنها « جديدة » و « محسنة » . وعلى طرف نقيض ، قدر المحللون الذين تدارسوا البروتوكول وفهموا شروطه ، أن الإنتاج العالمى لمركبات CFC فى عام ٢٠٠٩ ، سيتراوح بعد إجراء كل

التخفيضات ، بين أكثر من نصف مستوى عام ١٩٨٦ و أكثر من مستوى نفس العام بنسبة ٢٠ فى المائة ، ويعتمد ذلك على عدد الدول التى ستشترك فى المعاهدة فى نهاية الأمر ، والكيفية التى تفسر بها بعض شروطها - وهى الشروط التى تركت غامضة عن عمد من أجل الحصول على موافقة أوسع . ومع وصول الإنتاج لأى مستوى فى هذا النطاق ، فإن التركيز فى الغلاف الجوى سيستمر فى التزايد لعدة سنوات ، ويمكن لنا أن نتوقع أحداثا مثيرة أخرى مثل « ثقب الأوزون » . والحقيقة المجردة هى أن التركيز الحالى لمركبات CFC فى الهواء ، يكفى لإحداث المتاعب - بصورة أوضح فوق المنطقة القطبية الجنوبية ، بل فى كل مكان - وأية زيادة فى هذا التركيز سوف تزيد فحسب من المشكلات التى نواجهها .

وحتى لو توقف الإنتاج العالمى لمركبات CFC اليوم ، فإن التركيز فى الغلاف الجوى سيستمر فى الارتفاع لبضع سنوات قليلة قادمة ، حيث تتسرب تدريجيا إلى الهواء ، الغازات المختزنة فى المصنوعات الرغوية وفى أجهزة التبريد . وبعد ذلك ، سيقل هذا التركيز ببطء ، فى خلال المائة سنة القادمة ، إلى نحو نصف أعلى قيمة له ، نتيجة لتكسير مركبات CFC فى الاستراتوسفير . وسيستمر الأوزون فى التحطم بواسطة الكلور المنطلق فى هذه العملية ، ويمكننا أن نتوقع مرور عدة عقود ، يكون فيها الأوزون فى مستوى أقل أو مساو لكمياته المنخفضة الموجودة اليوم . وهذا الوقف الفورى للإنتاج سيكون أسرع علاج يمكن تصوره لمشكلة أوزون الاستراتوسفير ، ولو أنه ليس حلا سهل التنفيذ ، بسبب اعتماد أجهزة التبريد ، فى العالم كله ، على مركبات الـ CFC بصورة كلية تقريبا . وإذا لم تتحرك الصناعة بسرعة لتتبنى طرقا جديدة تؤدى نفس الأغراض التى تستخدم من أجلها مركبات CFC ، فإن الضغط من بعض الحكومات قد يزداد لتنفيذ أحكام بروتوكول مونتريال

التى تقضى بإعادة النظر فى معدل التخفيض إذا تطلبت الشواهد ذلك . وستتضمن عملية إعادة النظر هذه ، محاولة لكسب التأييد من دول أخرى لإجراء مزيد من التخفيض السريع فى الإنتاج والوصول إلى مستوى نهائى أقل لمركبات CFC .

وبالرغم من هذا التنبؤ المتشائم ، فإن اتفاق الدول على القيام بعمل ما قبل أن يحدث ضرر واضح للناس أو للكائنات الحية الأخرى ، يعتبر انجازا يستحق الذكر . وقد وجد العلماء لعدة عقود ، أن النماذج الرقمية تفيدهم فى دراساتهم عن العالم المعقد الذى نعيش فيه ، ولكن إقناع الزعماء أو الإداريين الوطنيين باتخاذ قرارات غير محببة ، على أساس التقديرات المستقبلية التى تقدمها هذه النماذج ، كان أمرا عسيرا . فالحساب العلمى الناتج من نموذج رياضى لا يمثل عاملا مؤثرا ضمن العوامل المتداخلة التى تشكل القرارات السياسية . والباحث الذى يقدم هذه الحسابات يريد أن يؤكد الحدود التى تكمن فى نهج معالجة المشكلة ، وطبيعة عمليات التقريب التى تم القيام بها ، وإمكانية أن تكون هناك عملية هامة ، لم يتم تضمينها فى هذا بوضعها الصحيح . ولهذا فقد كان من السهل على أولئك الذين ستفقدهم التوصيات المقترحة بعض الميزات ، أن يصفوا هذه التقديرات المستقبلية بأنها « مجرد نماذج » أو أنها « نظرية فقط » ، وأن يطالبوا بمزيد من الدراسة بدلا من العمل . وربما أتاح « ثقب الأوزون » لنا أن نجد مكانا لتطبيق التقديرات المستقبلية العلمية فى مجال السياسة العامة . والاختبار الحقيقى سيأتى مع ذلك ، فى رد فعلنا تجاه تسخين المناخ .

الفصل الرابع
تسخين المناخ

. التركيب المتغير للغلاف الجوى

أتيح للجيل الحالى من العلماء أن يراقبوا قوة جديدة وهى تظهر وتنمو - وهى قوة تزيد فى أهميتها على الأسباب الجيوفيزيائية والفلكية التى تحدث تغييرا فى الغلاف الجوى ، وهى تظهر بسرعة كافية تسمح لهم برؤية بعض نتائجها المبكرة .

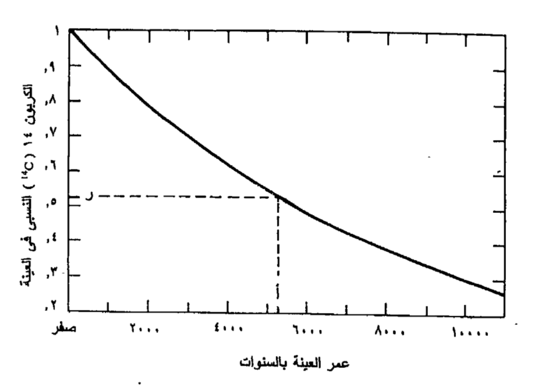
وقد تطور ببطء الاقتناع بأن علم الغلاف الجوى يجب أن يتسع ليتضمن العوامل المؤثرة الجديدة ؛ فالعلماء ليسوا أفضل من غيرهم فى إدراك أنهم يمرون بنقطة انعطاف هامة . وكما هو الحال دائما ، فإنه إذا عاد المرء للوراء أمكنه أن يتعرف على هؤلاء الأفراد بعيدى النظر ، الذين استشعروا ما كان يجرى أمامهم . وفى رأيى أن أفضل من توافرت له هذه الرؤية المستقبلية هو « هانز سويس » ، وهو عالم يعيش حاليا فى كاليفورنيا ، وانكب منذ أكثر من ٣٠ عاما مضت على فحص قضية علمية صغيرة نسبياً - وهى التأريخ بالكربون المشع - وفى أثناء هذه العملية توصل إلى حقيقة مثيرة للدهشة . والتأريخ بالكربون المشع هو طريقة لتعيين عمر أى شيء كان فى يوم من الأيام مادة حية . وقد حصل عالم الفيزياء « ويلارد ليبى » على جائزة نوبل لابتكاره هذه

الطريقة ، ومنذ ذلك الحين يستخدمها علماء الآثار وغيرهم بصورة روتينية .

ومن الضرورى أن نقدم بعض التفسير لتفاصيل هذه الطريقة لفهم الملاحظة التى جذبت انتباه « سويس » . فالأشعة الكونية الآتية من الفضاء الخارجى تدخل إلى الغلاف الجوى ، وتصطدم بالذرات التى يتكون منها الهواء ، وينتج عن هذه الاصطدامات أحياناً ، تكون صورة مشعة من الكربون ـ كربون ١٤ أو ^{14}C ـ وهو أثقل قليلا من الكربون العادى ، ولكنه مطابق له من الناحية الكيميائية تقريبا . و هذه العملية مستمرة منذ زمن طويل ، ولهذا فإن ^{14}C يوجد فى حالة اتزان تقريبى فى الهواء : أى أن الكمية التى تتكون من ^{14}C تساوى مايزال منه . ومما يثير اهتمام علماء الآثار ، أن الناس ، والأشجار ، والحشائش جميعها ، تمثل جزءا من هذا الاتزان . وتلتقط النباتات ^{14}C عندما تأخذ ثانى أوكسيد الكربون كغذاء ، ويوجد به قليل من ^{14}C بدلا من الكربون المعتاد . وعندما يأكل الناس والحيوانات الأخرى هذه النباتات ، فإنهم يلتقطون أيضا ^{14}C . وفى كل حالة ، يكون جزء الكربون المشع الذى يدخل أجسامهم ، مساويا لما يوجد منه فى الهواء . ويصدق هذا بالمثل بالنسبة للطحالب والقواقع والحلقات الخارجية للأشجار . ويبقى هذا الجزء كما هو ، حتى عندما نتقدم فى العمر ، لأنه يتجدد كل يوم عن طريق ما نأكله أو نتنفسه .

وعندما نموت ، أو عندما تموت الشجرة ، أو تقع أوراقها ، فإن هذا التجديد يتوقف . ويبدأ هذا الجزء فى التغير لأن الكربون المشع يتحلل تدريجيا إلى أشياء أخرى ، بينما يبقى الكربون المعتاد كما هو . ويبدو من ذلك وكأن موت الكائن الحى يجعل ساعة ما تبدأ فى التحرك ، وتستمر حركتها لمدة آلاف السنين .

وبيين شكل (٧) صورة مبسطة لكيفية استخدام هذه الساعة .(١٨) فعند قطع قطعة الخشب ، فإنها تحتوى فى هذه اللحظة على كميتها الكاملة من ^{14}C ، وهى المبينة فى الشكل على هيئة « ١ » . وبعد انقضاء ألف سنة يكون جزء من الكربون المشع قد تحلل ، وقلت كميته عن ٩٠ فى المائة من الكمية التى بدأ بها . وبعد انقضاء ٥٧٣٠ سنة ، وهى ما نعرفه باسم « عمر النصف » للكربون المشع ، تقل كميته إلى نصف قيمته الأصلية . وإذا وجد عالم آثار قطعة من الفحم مدفونة فى طبقة معينة فى قاع بحيرة ما ، وأراد أن يعرف منذ متى وجدت فى هذا المكان ، فإن النسبة بين الكربون المشع وبين الكربون المعتاد فى



شكل (٧) : منحنى المعايرة النظرى لإيجاد العلاقة بين نسبة الكربون المشع إلى الكربون العادى فى عينة ما ، وبين عمر العينة . وتعنى القيمة « ١ » أن النسبة فى العينة كانت مساوية لنفس النسبة فى الغلاف الجوى .

قطعة الفحم يمكن أن ترسم على المحور الرأسى من شكل (٧) . وإذا كانت هذه النسبة مثلا ٥٢,. من الكمية الأصلية ، كما هى مبينة عند « ر » ،فإن عمر العينة الذى يمكن استنتاجه يكون ٥٤٠٠ سنة ، كما هو مبين عند « أ » . ومن الممكن أن يستخلص عالم الآثار ، أن خشب الفحم عاش منذ ٥٤٠٠ سنة مضت ، وأن المادة الأخرى الموجودة بنفس طبقة الطين فى قاع البحيرة يمكن أن يكون لها كذلك نفس العمر . إنه حقا نظام نافع .

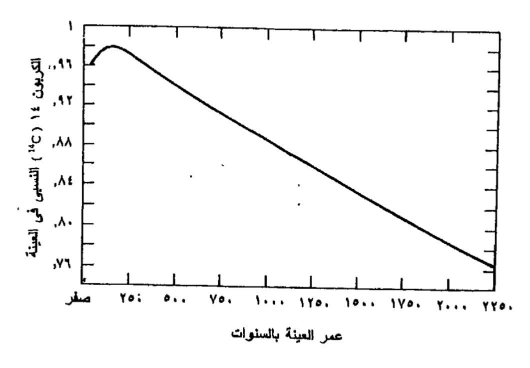
ولكنه ليس نظاما مثاليا ، فالخط فى شكل (٧) يأتى من النظرية البسيطة للاضمحلال الإشعاعى ، وهى سليمة بلا شك ، ولكن عند استخدامها لتعيين عمر عينة ما ، فإن المرء لا يثق فقط فى أن معدل الاضمحلال الإشعاعى ثابت على الدوام ، ولكنه يفترض كذلك أنه كان هناك دائما نفس القدر من ^{14}C فى الغلاف الجوى ، وبهذا فإن جميع المواد العضوية ، مهما كان عمرها ، بدأت بنفس النسبة منه . وهذا الفرض يبدو سليما بدرجة كافية ، فعند استعمال هذه الطريقة لتعيين العمر ، فإننا نستخدم بعض قوى الطبيعة العظيمة . وتأتى الأشعة الكونية من مجرة درب التبانة كلها ، والعدد الذى يصل منها إلى قرب الأرض ، تنظمه الشمس ومجالها المغنطيسى واسع المدى وكذلك تيارات الجسيمات ، والعدد الذى يسمح له بالاصطدام بالغلاف الجوى يتحكم فيه المجال المغنطيسى للأرض ، الذى يمتد بعيدا فى الفضاء . ونحن لا نتوقع أن تكون كمية ^{14}C فى الغلاف الجوى قد تغيرت بسرعة وبقدر كبير خلال العصور التى تهم علماء الآثار ، وهى فى حقيقة الأمر لم تتغير .

ولكن هناك تغيرات يمكن قياسها ، وعلى هذا فإن المنحنى الفعلى المستعمل لتقدير عمر العينات ليس منتظما تماما كما هو مبين فى شكل

(٧) - فهو يحتوى على بعض التعرجات الصغيرة . ويتغير كل من المجال المغنطيسى للشمس وللأرض من وقت لآخر ، معطيا لنا سنوات بها نتاج أعلى قليلا من ^{14}C ، وسنوات أخرى بها نتاج أقل قليلا . وهكذا ، فمن الناحية العملية ، على المرء أن يستعمل منحنى أكثر دقة بدلا من المنحنى البسيط فى شكل (٧) ، وهو منحنى يمكن بناؤه بقياس نسبة الكربون المشع إلى الكربون المعتاد فى عديد من العينات المحددة العمر .

وقد طور « سويس » طريقة « ليبى » المعملية ، وبذلك استطاع إجراء قياسات أكثر دقة ، أو العمل بعينات أصغر . وقد لاحظ « سويس » باستخدام هذه الطريقة المحسنة ، ما بدا أنه انحراف كبير فى الطرف الأعلى لمنحنى المعايرة . وتم اختبار مواد حديثة - مثل الطبقات الخارجية للأشجار التى قطعت فى الحال - بطريقته للتأريخ بالكربون المشع ، وثبت أن عمرها عدة مئات من السنين . ومن الواضح أنه بدلا من أن يظهر الجزء الأكثر حداثة من منحنى المعايرة مثل الطرف الأعلى من المنحنى فى شكل (٧) ، كان أكثر شبها بالمنحنى فى شكل (٨) .[١٩] فهل حادت قوى الطبيعة العظيمة هذه التى وصفت حالا ، عن طريقها ؟ أم هل قامت مجرة درب التبانة فجأة بتقليل إنتاجها من الأشعة الكونية ، أم هل كانت الشمس تسمح بدخول أشعة كونية أقل إلى النظام الشمسى ؟

لقد كانت الإجابة شديدة الدلالة . لا لم يكن هناك نقص فى الكربون المشع فى الهواء ، وبدلا من ذلك كان هناك فائض متزايد من الكربون العادى ، الذى وصل إلى الهواء بإحراق الوقود الأحفورى . وقام هذا الفائض بتخفيف الكربون المشع وقلل من نسبة الكربون المشع فى الأشياء التى نمت حديثا . لقد أدرك « سويس » أن الناس قد غيروا سمة



شكل (٨) : منحنى معايرة للتأريخ بالكربون المشع تبينه قياسات « سويس » على مواد حديثة . وللتأكيد على النقص فى السنوات الحديثة ، فهذا الرسم البيانى يغطى مدى أصغر من الأعمار أكثر مما يبينه الخط فى شكل (٧) .

هامة وقابلة للقياس ، تميز الغلاف الجوى للكرة الأرضية بأسره .

وعندما كتب « سويس » عن اكتشافه ، لاحظ هو وزميل له يدعى « روجر ريفيل » - وكلاهما من العلماء المتميزين - أن « بنى البشر يقومون حاليا بتجربة جيوفيزيائية واسعة المدى ، من نوع لم يكن من الممكن وجوده فى الماضى ، ولايمكن إعادة إجرائه فى المستقبل . فنحن نعيد ، خلال بضعة قرون ، إلى الغلاف الجوى وإلى المحيطات ، الكربون العضوى المركز والمختزن فى الصخور الرسوبية طوال مئات الملايين من السنين . وهذه التجربة إذا تم توثيقها بدقة ، قد تتيح لنا رؤية بالغة الأهمية عن العمليات التى تقرر الجو والمناخ » .[٢٠]

وقد تم اقتباس هذه العبارة مرات عديدة منذ ان نشرت عام ١٩٥٧ ، ولكن بتطور واضح فى نغمتها . والاقتباس الأصلى فريد وعلمى ، ويبدو أنه يقول إن فى مقدورنا أن نستغل هذه التجربة العرضية استغلالا حسنا . أما الصيغ التالية منها ، فقد اكتسبت نبرة واعية متزايدة ؛ ذلك أننا نجرى تجارب على كل الأرض دون أن نعرف كيف ستنتهى .

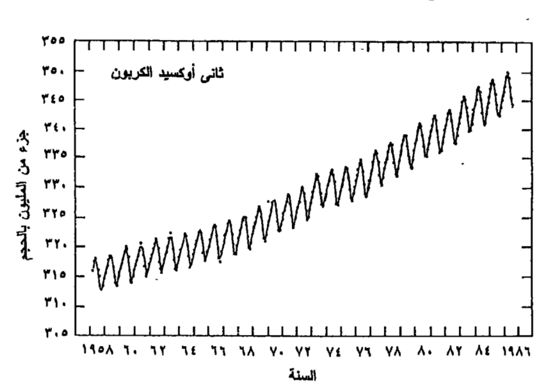
وكلنا نحس بالتعاطف مع علماء الآثار فى المستقبل الذين سيجدون أن فائدة إحدى الأدوات الهامة قد تناقصت ، ولكننا يمكن أن نطمئن أنفسنا بفكرة أنهم جماعة من الموهوبين ، الذين سيتوصلون ، بالتأكيد ، إلى طرق أخرى لتأريخ عيناتهم . [٢١] والنتائج الضمنية الأخرى لما توصل إليه « سويس » أكثر تشاؤما من ذلك : فالناس الآن على درجة من القوة تمكنهم من تغيير تركيب الغلاف الجوى بأكمله . وتشكل هذه المناقشة مقدمة مناسبة للمشكلة الثالثة من المشكلات الثلاث الشهيرة للغلاف الجوى : وهى تسخين المناخ .

ومازال التغير فى تركيب الغلاف الجوى الذى لاحظه « سويس » ، آخذا مجراه ، ويسير بسرعة أكبر من ذى قبل . ولم يحاول المجتمع العلمى أن يؤكد فقط أن التغيير « موثق جيدا » ، بل حاول أن يقدر ما يعنيه بالنسبة لمستقبل البشرية . ونتيجة لذلك ، فهناك اتفاق عام متزايد فى الآراء بين العلماء على أن التغيرات الجارية فى تركيب الغلاف الجوى للأرض ستسبب تسخينا سريعا لسطح الأرض ، وأنه فى وقت ما فى القرن القادم ، سيصبح المناخ أكثر سخونة مما كان عليه فى أى وقت مضى من تاريخ الإنسان .

وعادة ما تسمى ظاهرة التسخين هذه باسم « تأثير الصوبة » ، أو مشكلة « ثانى أوكسيد الكربون » . ولكن فيزياء الوضع القائم على كوكب الأرض لا تماثل عمل الصوبة (الدفيئة) ، كما أن ثانى أوكسيد

الكربون ليس الغاز الوحيد الذى يمكن أن يحدث تغييرا فى المناخ . ومن أجل الغرض المقصود من هذا الكتاب ، فإننى سأسمى العملية « احتباس الأشعة تحت الحمراء » ، والتأثير الناتج عنها « تسخين المناخ » .

وليس هناك خلاف حول حقيقة أن الغازات التى تسبب احتباس الأشعة تحت الحمراء توجد بتركيزات متزايدة فى الغلاف الجوى للأرض . وما قد يبدو على أنه أهم قياس جيوفيزيائى فى القرن العشرين ، والمبين فى شكل (٩) ، ما هو إلا امتداد لاكتشاف « سويس » .[٢٢] ويبين هذا الرسم البيانى تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى مقاسا فى مرصد « مونا لوا » بهاواى منذ عام ١٩٥٨ . ويقع هذا المرصد عاليا فوق منحدرات الحمم لأحد براكين

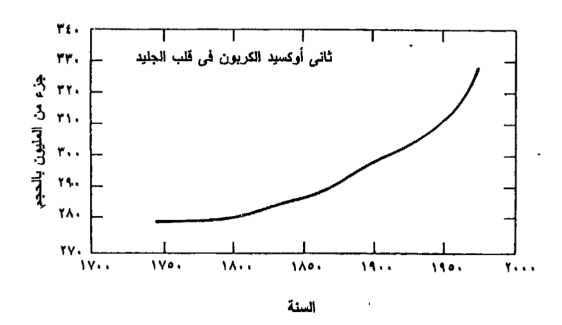


شكل (٩) : تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء مقاسا فى مرصد « مونا لوا » من ١٩٥٨ إلى ١٩٨٦ . وحدات التركيز أجزاء من المليون بالحجم .

هاواى ، بعيدا عن المزروعات والمدن والصناعات وأغلب الناس . ويسحب العلماء القليلون والفنيون الذين يعملون بالمرصد ، عينات الهواء من ارتفاعات عالية فوق الموقع لتجنب تلوثها . ويضمن انعزال الموقع الذى تؤخذ منه العينات ، والعناية التى تقاس بها العينات على حد سواء ، أن النتائج تكون ممثلة عمليا لكمية ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء النقى لنصف الكرة الشمالى .

ويبين المنحنى فى شكل (٩) تذبذبا سنويا كبيرا ، وينشأ هذا من حقيقة أن النباتات تمتص ثانى أوكسيد الكربون من الهواء فى الربيع فى أثناء نموها ، وتعيده إلى الهواء فى الخريف عندما تتحلل . ولكن أكثر السمات إثارة للدهشة فى هذا المنحنى ليست فى التذبذب السنوى ، ولكن فى الزيادة الثابتة طوال فترة القياس إلى قيمة حالية تزيد على ٣٥٠ جزءا من المليون . وتشير هذه القياسات إلى أنه يوجد الآن نحو ٧٥٠ مليار طن من الكربون فى الهواء على هيئة ثانى أوكسيد الكربون ، وأن هذه الكمية تزداد كل عام .

وترجع هذه القياسات التفصيلية إلى عام ١٩٥٨ فقط ، ولكن العلماء وجدوا ، بالعودة إلى الجليد القطبى ، طريقة لتقدير كمية ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء فى أزمنة سابقة على ذلك . وكما أن الرصاص الناتج من البنزين الحديث ، والكبريتات المصاحبة للأمطار الحمضية ، قد تم حفظهما فى الجليد ، فإن عينات من الهواء قد احتبست فى ثلوج كل من القطب الشمالى والقارة القطبية الجنوبية ، وهى متاحة للتحليل . ويحتاج الجليد القطبى إلى سنوات ليحتبس فقاعات الهواء تماما ، ولهذا فإن العينات لا تحتفظ بالتغيرات من شهر لآخر كما فى حالة « مونا لوا » ، ولكنها تبين القيمة المتوسطة لتركيز ثانى أوكسيد الكربون خلال قرون سابقة . وقد نتج الشكل (١٠) من مثل هذه القياسات [٢٣] ، ومنه نعلم



شكل (١٠) : تركيز ثانى أوكسيد الكربون الموجود بالهواء المحتبس فى أعماق مختلفة من الجليد القطبى . التركيز بأجزاء من المليون بالحجم .

أن الزيادة السريعة فى ثانى أوكسيد الكربون بدأت منذ حوالى ٢٠٠ سنة مضت ، وتسارعت فى الأزمنة الحديثة .

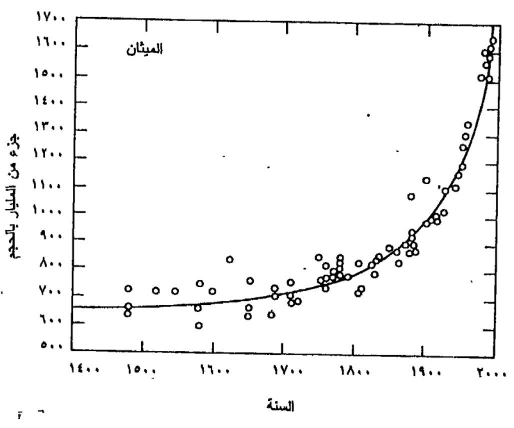
وقد أثارت قياسات « سويس » بعض الدهشة ، ولكن فكرة أن إحراق الوقود الأحفورى سيؤدى إلى تجمع ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء ، وأن هذا التجمع سيتسبب فى نهاية الأمر فى تسخين سطح الأرض ، كانت فكرة قديمة . وقد طرح « سفانت أرهينيوس » فى السويد هذه الفكرة فى نهاية القرن الماضى ، وتمت دراستها باهتمام زائد منذ ذلك الوقت .[٢٤] ويمكن وصف التقدم فى هذه الدراسات فى معظمه بأنه اهتمام يزداد رقيا بطبيعة نظام المناخ ، وآلياته الداخلية ، وتفاعلاته مع المحيط والأرض والجليد ، والتغيرات الصغيرة فى مدار الأرض حول الشمس . وقد حدث تغير رئيسى واحد فى وصف المشكلة حديثا ، فقد

أدرك خبراء الإشعاعات الجوية ، أن بعض الغازات الأخرى خلاف ثانى أوكسيد الكربون يمكنها أيضا أن تحتبس الأشعة تحت الحمراء ، وبين خبراء كيمياء الهواء أن تركيزات بعض هذه « الغازات الأخرى » كانت تزداد فى الغلاف الجوى . ومع إدراك هذا الأمر الجديد ، أصبح من الواضح أن ثانى أوكسيد الكربون كان الأول فقط فى قائمة متزايدة من المواد التى يمكن التخوف منها .

ويأتى الميثان على رأس هذه القائمة للمواد التى تحتبس الأشعة تحت الحمراء . وقد بينت القياسات الحديثة أن تركيزات هذا الغاز فى الجو تزداد بمعدل يساوى ضعف المعدل الذى يتزايد به ثانى أوكسيد الكربون . وقد ساعد الجليد القطبى العلماء ، مرة أخرى ، على تقدير الزمن الذى بدأت فيه هذه الزيادة . ويكشف شكل (١١) ، أن التصاعد إلى أعلى بدأ فى نفس الوقت تقريبا الذى بدأت فيه الزيادة فى ثانى أوكسيد الكربون ، ثم تسارع مثله ، فى الزمن الحديث .[٢٥]

والمادتان التاليتان فى القائمة ، هما CFC-12 و CFC-11 ، وهما نفس الغازين اللذين وقفا موقف الاتهام فى استنفاد أوزون الاستراتوسفير . ويزداد تركيز هذين الغازين بسرعة كبيرة كما هو مبين بالفصل الثالث . ونظرا لأن أول تحضير لهذين الغازين فى المعمل تم فى هذا القرن ، فإن زيادتهما فى الهواء تعتبر ظاهرة حديثة .

وتطول هذه القائمة عاما بعد عام كلما توصل الكيميائيون إلى منتجات جديدة ثم صنعت فيما بعد بكميات كبيرة . وحتى الآن ، لم تظهر بعد أغلب هذه المواد الجديدة فى الغلاف الجوى بكميات تدعو إلى الانزعاج . وهناك غازان آخران يحتلان مكانا متقدما فى قائمة الغازات التى تحتبس الأشعة تحت الحمراء ويستحقان المراقبة ، ولكنهما ليسا من الكيماويات المخلقة حديثا . هذان الغازان هما أوكسيد النيتروز



شكل (١١) : تركيز الميثان فى الغلاف الجوى فى أوقات مختلفة فى الماضى ، كما استنتج من قياسات الهواء المحتبس فى قلب الجليد (١٤٨٠ ـ ١٩٥٠) ، ومن قياسات مباشرة على عينات من الهواء (بعد ١٩٥٠) . التركيزات مبينة بأجزاء من المليار بالحجم .

والأوزون فى الغلاف الجوى السفلى . ويزداد تركيز أوكسيد النيتروز فى الهواء بمعدل ملحوظ ، وإن كان يقل كثيرا عن ثانى أوكسيد الكربون . ومن المعتقد أن تركيز الأوزون فى الغلاف الجوى السفلى يزداد كذلك ، ولكن نظرا لأن عمره في طبقات الهواء السفلى قصير ، والاختلافات فى تركيزه من مكان لآخر كبيرة ، فإنه يصعب القول بصورة مؤكدة ، أن هناك زيادة عامة تجرى فيه . وبالنسبة لجميع الغازات التى تمثل مكانا متقدما فى القائمة ، فيما عدا الأوزون ، فإن

القياسات تبين بوضوح أن تركيزاتها فى الغلاف الجوى فى تزايد مستمر ، وترتبط الزيادة فى كل منها ارتباطا وثيقا بنمو المجتمعات الصناعية ، وبتزايد أعداد سكان الأرض .

احتباس الأشعة تحت الحمراء

والنظرة المجردة للأرض تبين أنها تشع نفس القدر من الطاقة التى تمتصها من الشمس ، وهذا الاتزان يجب أن يستمر دون اعتبار للتغيرات التى نصنعها فى الهواء ، ولكن تفاصيل الطريقة التى ترتب بها الأرض إشعاع هذه الحرارة ، تتأثر بشدة بتركيب الغلاف الجوى .

وعلى الرغم من أنه قد يبدو من غير المحتمل أن تؤثر فى المناخ غازات لا تزيد كميتها على أجزاء من مائة من الواحد فى المائة من الغلاف الجوى ، فإنه مما لا يقبل الجدل أن احتباس الأشعة تحت الحمراء وتسخين المناخ يحدثان حاليا فى الغلاف الجوى للأرض ، وأنهما فعلا ذلك أيضا على طول تاريخ الأرض . وإذا أمكننا إزالة جميع الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء من الهواء ولم يتغير شىء آخر ، فإن متوسط درجة حرارة سطح الأرض سيكون نحو ـ ١٨°م .

وعندما يرسل سطح الأرض الحرارة أو الأشعة تحت الحمراء إلى أعلى ، تقوم الغازات التى تحتبس الحرارة بامتصاص أكثرها قبل أن تستطيع الهروب إلى الفضاء . وترتفع درجة حرارة هذه الغازات نفسها بواسطة الإشعاعات التى امتصتها ، وتقوم بدورها بإشعاع هذه الطاقة الزائدة بعيدا عنها فى جميع الاتجاهات ، وهكذا فإن بعضا منها يعود إلى سطح الأرض ويدفئها . وينشأ الإشعاع الذى يتمكن من ترك الأرض ، على الأغلب ، عاليا فى الغلاف الجوى حيث تنخفض درجة الحرارة

إلى - ١٨°م ، وبذلك يتم الاحتفاظ بالتوازن الكلى مع أشعة الشمس الواردة . ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض نحو + ١٥°م ، ويؤدى احتباس الأشعة تحت الحمراء الذى يحدث اليوم إلى تدفئة سطح الأرض بمتوسط قدره ٣٣°م ، أى من درجة تقل كثيرا عن الصفر ، إلى درجة أعلى منه بكثير . ولو لم يكن هذا هو الحال ، لكانت الأرض تتغطى دائما بالجليد - وتصبح بذلك مكانا غير ملائم لحياة الإنسان ، ولا يصلح فى المقام الأول لتطور الإنسان . ويعد مثال « البرميل المتسرب منه الماء » فى الفصل الثالث ، طريقة مناسبة للنظر فى مشكلة تسخين المناخ ، فعملية إضافة غازات محتبسة للأشعة تحت الحمراء إلى الهواء ، وبالتالى رفع درجة الحرارة ، تشابه سد بضعة ثقوب قليلة فى البرميل ، وهكذا يندفع مستوى الماء إلى أعلىحتى يعود التسرب الكلى إلى قيمة تتوازن مع الكمية الداخلة .

وتثير حقيقة أن التركيزات التاريخية للغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، تسخن سطح الأرض بمقدار كبير ، تساؤلا فوريا : هل ترفع الزيادة فى هذه التركيزات درجة الحرارة أكثر من ذلك ؟ الإجابة المؤكدة ، نعم . والسؤال الوحيد هو ما مقدار هذا الارتفاع ؟

ويلجأ العلماء ثانية ، إلى نماذج رقمية معقدة كأفضل طريقة لحساب مقدار التغير فى المناخ نتيجة لانبعاث الغازات فى الماضى ، والمدى الذى سيتغير به لأكثر من ذلك لو أننا داومنا على إطلاق الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء فى الغلاف الجوى .[٢٦] وحتى أبسط نماذج المناخ - وهو الذى أسس على غلاف جوى متوسط للكرة الأرضية ، وقيم مقاسة للطاقة الشمسية الواردة ، والخواص الضوئية للغازات الموجودة بالغلاف الجوى ، ومعدل تناقص درجة الحرارة مع الارتفاع - يوفر قيمة لا بأس بها للكمية الحالية لتسخين المناخ . ولكن

تتضح بعض الصعوبات عند استخدام مثل هذه الطريقة البسيطة لحساب مقدار الارتفاع فى درجة حرارة السطح مع زيادة كمية ثانى أوكسيد الكربون والغازات الأخرى المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، فى الهواء . ومثال ذلك أن نتائج الحسابات البسيطة حساسة جدا لكمية بخار الماء الموجود بالهواء ، لأن بخار الماء كذلك ماص قوى للأشعة تحت الحمراء ، بل هو أكثر قوة فى الحقيقة من ثانى أوكسيد الكربون .[٢٧] وعندما يسخن هواء السطح نتيجة لإضافة الغازات النزرة ، فإنه من المعقول أن نفترض أن كمية بخار الماء فى الهواء ستزيد ، وهى التى ستتبخر من المحيطات بفعل درجات الحرارة العالية . (تحدث هذه العملية كل عام ، وفى المتوسط هناك رطوبة أكثر فى الهواء فى الصيف عنها فى الشتاء) . وإذا كانت هناك زيادة فى بخار الماء ، فإن السطح سيصبح أكثر دفئا كذلك . ويقتضى إدخال هذه العملية الثانوية فى الحسابات ، طريقة أكثر تعقيدا ، تتضمن تفاصيل أكثر منها فى حالة حساب متوسط واحد للأرض كلها فى خطوة واحدة .

وتتضمن التفاصيل الإضافية المطلوبة ، ليس فقط معلومات عن كمية بخار الماء المضافة للهواء ، ولكن تتضمن أيضا تعيين مكانها ، فالظروف تختلف من مكان لآخر على سطح الأرض . ويعتمد الإشعاع المنعكس أو الممتص ، والإشعاع المنبعث إلى الفضاء ، بشكل قوى على الظروف المحلية . فكمية السحب ونوعها وارتفاعها ، ولون التربة ، ودرجة حرارة الأرض أو الهواء ، ووجود غطاء من الجليد - تؤثر كلها فى تيارات الإشعاع المحلية . وعلى الرغم من أن تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء هو نفسه تقريبا فى كل مكان ، فإن كمية بخار الماء شديدة التغير . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن بخار الماء والطاقة الحرارية ، وكمية الحركة والغبار وبعض مكونات أو ظروف الغلاف الجوى الأخرى ، يمكن تحريكها من مكان لآخر بواسطة الرياح ، ومن

ارتفاع فى الهواء إلى آخر بواسطة الحمل الحرارى ، مما يجعل الحساب الكامل لكيفية سلوك الغلاف الجوى شديد التعقيد . والحسابات المطلوبة للإحاطة بهذه التعقيدات لا تتضمن محاكاة كل العمليات الهامة التى تجرى فى الهواء فى لحظة معينة فقط ، ولكنها تتضمن أيضا محاكاة كل التغيرات التى تحدث فى هذه العمليات كل بضع دقائق . وتحتاج نماذج المناخ هذه إلى فريق من العلماء ، وإلى مبرمجى الحاسبات الآلية ، للعمل عدة سنين لتصميمها وبنائها ، وإلى ملايين من الدولارات ثمنا لوقت الحاسب الآلى لاختبارها وتشغيلها . وتحد هذه التكاليف من عدد مجموعات العلماء التى تستطيع وضع نماذج للمناخ ، ونتيجة لذلك ، فهناك عدد قليل من النماذج المستقلة المعقولة ، المستعملة فى العالم ، والتى تستطيع أن تعطى تقديرات مستقبلية للتسخين .

وينظر واضعو النماذج إلى المناخ بعدة طرق مختلفة ، ولكنهم جميعا يستعملون حسابا قياسيا واحدا ، ولذلك فإن نتائجهم يمكن مقارنتها بنتائج المجموعات الأخرى . وهم يحسبون أولا ظروف الجو لزمن محاكاة يبلغ عشر سنين أو أكثر ، بما يكفى للحصول على متوسطات لدرجة الحرارة ، وسقوط الأمطار ، وبعض الكميات الأخرى . ويتم الحساب الأول بغلاف جوى قياسى ، وهو الذى توجد به الكمية الحالية لثانى أوكسيد الكربون ، أو بأى كمية تقديرية سابقة ، ولتكن ٣٠٠ جزء من المليون بالحجم ، ويتم بعد ذلك حساب ثان باستخدام كميات من ثانى أوكسيد الكربون تزيد على ذلك بمرتين ، أى ٦٠٠ جزء من المليون . ويمكن مقارنة النتيجتين معا ، وتقدير تأثير ثانى أوكسيد الكربون الزائد . ويمكن لكل مجموعة من واضعى النماذج أن تجرى حسابات أخرى عديدة ، ويتوقف هذا على نوعية اهتمامات كل منها ، ولكن الحساب القياسى هو ذلك الذى يجمعه المراجعون الخبراء فى استعراض النتائج واللجان الدولية ، بهدف معرفة ما إذا كان هناك اتفاق عام فى

الآراء آخذ فى التطور بالنسبة للتأثير المحتمل لزيادة ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى .

وقد كان واضعو أحدث استعراض ، حريصين ، مثل أسلافهم ، على فحص الفروق بين نتائج النماذج المختلفة والجماعات البحثية المختلفة . (٢٨) وقد أظهرت بعض النماذج زيادة أكبر فى التسخين عن غيرها ، وأظهر بعضها زيادة فى سقوط الأمطار فى أماكن لم تظهر بها النماذج الأخرى أى تغيير ، وأظهرت بعض النماذج زيادات أكبر فى درجات الحرارة فى المنطقة القطبية عن غيرها من النماذج . ولكن فى الأساس ، كان هناك اتفاق تام : فجميع النماذج بينت أن هناك زيادة فى تسخين المناخ . وبينت جميع النماذج كذلك أن التسخين سيكون أكبر عند خطوط العرض المرتفعة عنه عند خط الاستواء . وأظهرت كل النماذج أنه بينما سترتفع درجة حرارة سطح الأرض ، فإن الاستراتوسفير سيصبح أكثر برودة . وينتهى هذا المسح الشامل إلى أن متوسط كمية السخونة لسطح الأرض على مستوى الكرة الأرضية ، الذى سينتج عند مضاعفة كمية ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ،سيتراوح بين ١,٥ و ٥,٥°م ، مع احتمال يقدر بنسبة الثلثين بأن الإجابة الصحيحة تقع بين ٢,٥ و ٤,٥°م .(٢٩)

وهذه العادة التى تتضمن مقارنة النتائج وإعداد التقارير عن نتائج التجربة القياسية على كل نموذج ، مفيدة ومريحة ، ولكنها يمكن أن تؤدى إلى نوعين مختلفين من سوء الفهم . ينشأ الأول منهما من حقيقة أن التجربة القياسية تركز اهتمام القارىء (وفى بعض الأحيان اهتمام القائمين بها) على ثانى أوكسيد الكربون ، وينتج عن ذلك أن تأثير الغازات الأخرى المحتبسة للأشعة تحت الحمراء قد يتم نسيانه . والدراسة الضخمة المتأنية التى قامت بها لجنة أكاديمية العلوم القومية

عام ١٩٨٣ وقعت فى نفس هذا الشرك .[٣٠] فبالرغم من أن تقرير هذه اللجنة تضمن جزءا قصيرا عن تأثيرات الغازات الأخرى غير ثانى أوكسيد الكربون ، فإن هذه الغازات الأخرى قد نسيت عند كتابة الملخص والتوصيات ، وتضمن التقرير مقياسا زمنيا متراخيا للأحداث المتوقعة ، بأكثر مما تبرره بيانات التقرير .

وسوء الفهم الثانى الناتج من التجربة القياسية ، هو الانطباع الذى خلقته بأن كمية ثانى أوكسيد الكربون ستتضاعف ، وأن المناخ سيسخن بثلاث درجات ، وأن هذه ستكون نهاية الأحداث . ولا توجد فى الحقيقة عملية معروفة تتسبب فى بقاء مستوى تركيز ثانى أوكسيد الكربون عند مستوى ٦٠٠ جزء من المليون بالحجم ، وتؤدى إلى تسخين المناخ ليتخذ قيمة ثابتة كما تم تقديره بواسطة النماذج . وتؤدى جميع التقديرات المستقبلية الخاصة بانبعاثات الغازات المحتبسة للحرارة مستقبلا ، إلى استنتاج أن المناخ سيستمر فى السخونة مع تزايد تركيزات هذه الغازات . وعندئذ لن تتمثل القضية فى كيف سنعيش فى جو أكثر دفئا بثلاث درجات ، ولكن ستتمثل فى كيف يمكننا أن نتأقلم مع مناخ دائب التغير .

ولتجنب هذا النوع من الانطباع الخاطىء ، بدأت مجموعات جديدة من المراجعين بوصف نتائجهم فى ظل معدلات متغيرة ، بدلا من كميات ثابتة من التسخين . وأحدث دراسة « لفيلاش » ، تقرر أن متوسط درجة حرارة الأرض يرجح أن يزيد بنحو ٠,٣°م فى كل عقد فى السنوات القادمة ، ثم يتسارع بعد ذلك إذا استمرت معدلات انبعاث الغازات المحتبسة للحرارة فى الارتفاع .[٣١]

أهمية تسخين المناخ

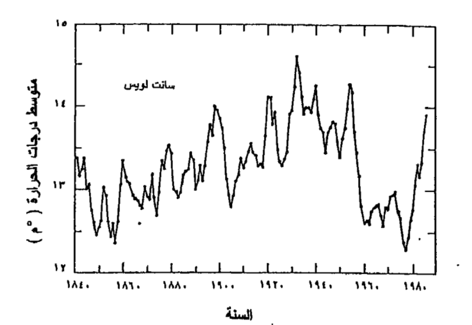
لم يتعود أحد منا أن يفكر فى متوسط درجات الحرارة العالمية . نحن نعرف أننا نتعرض لتغيرات كبيرة فى درجات الحرارة بين الصيف والشتاء ، وأننا نستطيع السفر إلى المناطق الاستوائية أو إلى المناطق القطبية دون أن نسبب ضررا لأنفسنا ، ولهذا فإنه من المعقول أن نسأل ماذا تعنى زيادة قدرها ٠,٣ °م فى كل عقد . وحتى لو استطاع العلماء أن يقنعوا كل الناس بأن مثل هذا الانتقال يمثل تغيرا رئيسيا فى المناخ ، فإنه يظل من حقنا شرعا أن نسأل عما إذا كان البشر - وهم نوع قابل للتأقلم بصورة بارزة - لن يستطيعوا أن يرتبوا أنفسهم للتأقلم مع أية تغييرات تسببها هذه النقلة فى المناخ . فمن الممكن حقا أن تعنى كمية الحرارة المتوقعة أن المزارعين سيختارون ببساطة أنواعا أخرى مختلفة من المحاصيل لزراعتها ، وأن فصول الصيف ستكون أطول قليلا ، وفصول الشتاء أقصر قليلا ، وأن من يتاجرون فى وقود التسخين سيتحولون إلى العمل فى صيانة أجهزة تكييف الهواء . ومع ذلك ، فمن الممكن أن يؤدى التسخين ، بدلا من ذلك ، إلى إحداث حالة كبيرة من الفوضى فى حضارتنا الحديثة .

وإحدى طرق النظر فى السؤال عن أهمية تسخين المناخ القادم ، هى أن ندرس التغيرات المناخية الماضية التى تحمل بعض الشبه بالتغيرات المتوقعة مستقبلا ، ونرى ما إذا كان الناس قد نجحوا بصفة عامة فى تحملها . وفى مقدورنا أن نسأل عن مقدار التغير فى المناخ ، وعن طريقة تغيره ، وعن الكيفية التى أثرت بها هذه التغيرات فى الناس الذين عاشوا خلالها .

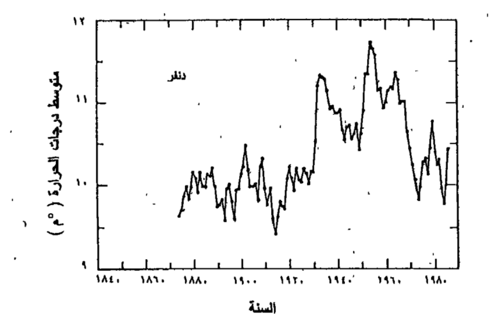
وهناك سجلات جيدة متوافرة عن كل من المناخ والأنشطة البشرية

فى أماكن مختلفة حول العالم خلال القرن أو القرنين الماضيين ، ولكن هناك ميزات واضحة فى النظر إلى الماضى فى حدود عشرة آلاف سنة . وهذا الوقت الطويل أكثر من أن يغطى كل تاريخ الحضارات المنظمة ، والتى حافظت على سجلاتها ، وهو يتضمن فى بدايته الأولى تراجع أحدث عصر للغمر الجليدى ، وهو أكبر تغير طويل المدى فى المناخ يمكن لنا أن نعيد بناءه ببعض التفصيل . وقد كانت هناك تغيرات أخرى فى المناخ بين العشرة الآلاف سنة الماضية واليوم ، ومن الواضح أن بعضا منها كان عالميا فى المقدار ، ويمكن دراسة وقعها بثقة متزايدة كلما اقتربنا من الأزمنة الحديثة ، عندما أدى ابتكار الترمومتر والبارومتر وعمليات القياس الدورية ، إلى تحسن كبير فى صورة المناخ وتغيراته . ومع ذلك ، فبالنسبة للعشرة الآلاف سنة الماضية ، يعتمد علماء المناخ على ما يستطيعون استنتاجه من الشواهد غير المباشرة لتكوين صورة عن المناخ فى وقت معين .

وتستخدم السجلات التفصيلية للسنوات المائة أو أكثر الأخيرة كدروس بالنسبة لأنواع المشكلات التى يمكن أن نقابلها فى تجميع تاريخ المناخ لمدة أطول . ويبين شكل (١٢) متوسط درجات الحرارة المقاسة عند محطة بجوار « سانت لويس » ، بولاية ميسورى ، خلال مدة طولها ١٤٠ عاما وحتى أوائل الثمانينات . وكانت درجة الحرارة هناك تزداد بصورة غير منتظمة حتى عام ١٩٣١ تقريباً ، ثم انخفضت من ١٩٣١ إلى ١٩٧٧ ، وبعد ذلك بدأت فى التزايد السريع .[٣٢] ويبين شكل (١٣) مجموعة مماثلة من القياسات من « دنفر » بولاية كولورادو - وهى مجموعة أقصر قليلا ، تبدأ فى ١٨٧٣ بنفس التزايد حتى ١٩٣١ ، كما فى « سانت لويس » (انظر ملحوظة ٣٢) . ولكن كانت هناك فى دنفر قمة ثانية أعلى فى ١٩٥٥ ، كما أن التزايد السريع فى الثمانينات لم يكن واضحا . وفى تقرير آخر من مسافة أبعد نحو



شكل (١٢) : درجات الحرارة المقاسة بجوار « سانت لويس » ، بولاية ميسوري ، في الفترة ١٨٤٠ ـ ١٩٨٧ . وتتغير قياسات السنوات المفردة بنحو درجتين ، ولهذا فإن متوسطات كل خمس سنوات استخدمت هنا لتجنب بعض التغيرات الأكبر من سنة إلى أخرى ، ولتأكيد الاتجاهات الأطول مدى .

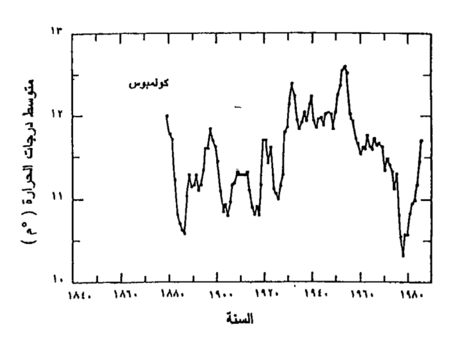


شكل (١٣) : متوسط درجات الحرارة كل خمس سنوات ، مقاسة في « دنفر » بولاية كولورادو ، نحو ١٢٧٥ كيلومترا غرب سانت لويس .

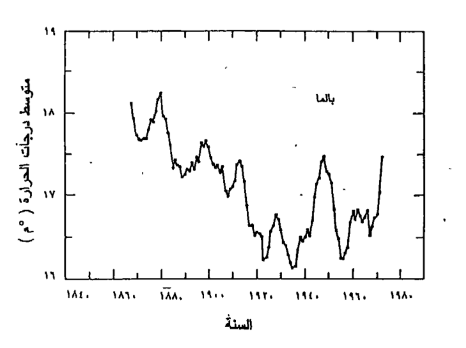
الشرق ، من محطة فى « كولمبوس » بولاية أوهايو (شكل ١٤) ، تظهر نفس القمم كما فى « سانت لويس » وفى « دنفر » ، وكذلك التزايد السريع الحديث .

والتشابه بين هذه التقارير الثلاثة المبنية على قياسات فى مواقع متباعدة بنحو ٢٠٠٠ كيلومتر ، يشير إلى أن مثل هذه التغيرات المناخية ، مثل القمة الدافئة فى ١٩٣٠ ، واسعة الانتشار . ولكن هذه التغيرات لم تكن عالمية ، ولا تعتبر حتى مميزة للتغيرات الحادثة فى كل مكان فى نصف الكرة الشمالى . ويبين شكل (١٥) قياسات من « بالما » فى جزيرة « مايوركا » فى غرب البحر المتوسط . والنمط الذى توضحه هذه الملاحظات مناقض تقريبا لذلك الموجود فى « سانت لويس » .[٣٣]

وللوصول إلى ما كان يحدث فى المناخ العالمى خلال هذه السنوات ، فإنه من الضرورى أن نجمع المعلومات من مئات أو آلاف من محطات القياس التى تتوزع وتنتشر فوق الأرض ، ثم نأخذ متوسطاتها معا . وهذه العملية مضنية لأنه يجب أن نأخذ فى الاعتبار موقع كل محطة ، حتى يمكن التأكد من أنها لم تتأثر بدون موجب بالتغيرات فى الأنشطة البشرية المحلية - فإن مصنعا يقام بجوار محطة القياس يمكن أن يؤثر بشدة على قراءاتها . ويجب مقارنة البيانات الواردة من المحطات المتقاربة للمساعدة على اكتشاف أخطاء التسجيل ، ويجب إبداء أكبر قدر من الحرص على معرفة المناسبات ، التى قد تنقل فيها إحدى المحطات ، أو يظهر فيها عيب فى أحد الترمومترات . وعندئذ يمكن أخذ متوسطات للقياسات الخاصة بتقدير المناخ . وهناك صعوبة أساسية فى هذه العملية تتمثل فى أن أغلب سطح الكرة الأرضية عبارة عن محيطات ، وأن محطات قليلة جدا فى البحر تحتفظ بسجلات لمدة طويلة



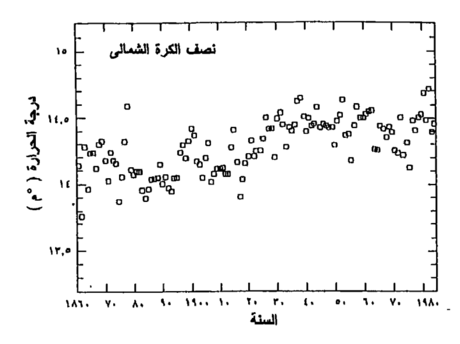
شكل (١٤) : متوسط درجات الحرارة كل خمس سنوات ، مقاسة فى « كولمبوس » بولاية أوهايو ، نحو ٨٤٥ كيلومترا شمال شرق سانت لويس .



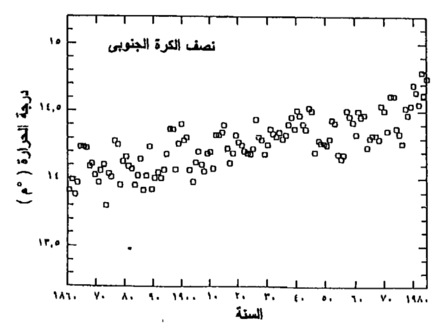
شكل (١٥) : متوسط درجات الحرارة كل خمس سنوات ، مقاسة فى « بالما » فى جزيرة مايوركا فى غرب البحر المتوسط .

بدرجة كافية تسمح بإضافتها إلى السجلات المأخوذة من اليابسة . وإحدى الطرق للتغلب على هذه الصعوبة هى أخذ قياسات من السفن التى تعبر المحيط - وهى إما قياسات لدرجة حرارة الهواء بجوار سطح المحيط ، أو قياسات لدرجة حرارة مياه السطح نفسها - ثم تضمن هذه القياسات فى المتوسط للمواقع المناسبة . ويبين شكل (١٦) متوسطا لنصف الكرة الشمالى أعد بهذه الطريقة .[٣٤] والتغيرات من عقد للعقد التالى له أصغر بكثير من التغيرات المسجلة فى محطة واحدة مثل « بالما » أو « سانت لويس » . وهناك بقية من أثر للقمة الكبيرة التى تم الوصول إليها بالقرب من ١٩٣٠ ، نراها فى التسجيلات الخاصة بوسط الولايات المتحدة ، ولكن السمة الظاهرة بالنسبة لمتوسط نصف الكرة هى الفرق الواضح بين السنوات القريبة من بداية التسجيل وتلك التى تقع بجوار النهاية . ومتوسط نصف الكرة الجنوبى (شكل ١٧) يبين نفس الزيادة طوال الـ ١٢٠ عاما الماضية (للمصدر ، انظر ملحوظة ٣٤) . وقد زاد دفء الأرض فى المتوسط بنحو ٠,٥° م خلال هذه الفترة ، ولكن مع تذبذبات أكبر بكثير فى مناطق بعينها .

ولا ترجع تسجيلات الترمومتر من المحطات المتباعدة المواقع فى الماضى إلى أبعد من ١٥٠ سنة ، ولكى نفحص التغيرات التى قد تكون حدثت فى المناخ خلال الألف سنة الماضية ، يجب أن نستخدم أنواعا أخرى من الشواهد . وبالنسبة للأجزاء كثيفة السكان من الأرض ، والتى ينتشر بها التعليم ، يمكن استعمال التسجيلات المكتوبة لاستنتاج بعض نواحى الطقس السنوى . ومن الواضح أن تجمد المياه أو انصهارها فى بعض الموانى والقنوات والممرات المائية ، ليسا سوى حدثين يتصلان بدرجة الحرارة ، ويمكن استخلاص بعض الإشارات النافعة ، وإن كانت عادة ليست مصحوبة بالأرقام ، من المذكرات أو الرسائل التى تدعى أن « هذا كان أبرد شتاء يمكن أن يتذكره أكبر السكان سنا » .



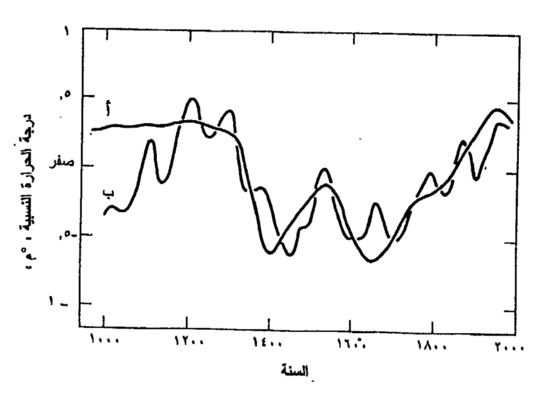
شكل (١٦) : درجة حرارة السطح فى نصف الكرة الشمالى منذ ١٨٦١ ، كما استنتجت من قياسات فوق مساحات من الأرض والمحيط ، ومن درجات حرارة المياه عند سطح المحيط .



شكل (١٧) : درجة حرارة السطح فى نصف الكرة الجنوبى منذ ١٨٦١ ، كما استنتجت من قياسات فوق مساحات من الأرض والمحيط ، ومن درجات حرارة المياه عند سطح المحيط .

وبالإضافة إلى هذه المصادر الوثائقية للمعلومات الخاصة بدرجة الحرارة ، فإن هناك قياسات متوافرة من عرض حلقات الأشجار التى تستجيب لدرجة الحرارة فى بعض المواقع . والخبرة المكتسبة من فحص سجلات الترمومتر فى أمريكا وفى البحر المتوسط ، تحذرنا من أن المعلومة المستقاة من موقع واحد لا يجب تفسيرها على أنها تمثل تغيرا فى نصف الكرة أو على مستوى الأرض كلها ، وأن التغيرات فى موقع ثابت غالبا ما تكون أكبر من التغير على مستوى الكرة الأرضية .

والشكل (١٨) يبين شكلين تم استنتاجهما لدرجة الحرارة خلال الألف سنة الماضية . وقد جاءت هذه السجلات كلية من نصف الكرة



شكل (١٨) : تقديرات لدرجة الحرارة فى بعض المواقع فى نصف الكرة الشمالى ، خلال الألف سنة الماضية . والمنحنى « أ » تم استنباطه من تسجيلات متنوعة لقسوة الشتاء فى أوروبا . والمنحنى « ب » تم استنباطه من عرض حلقات الأشجار على الساحل الغربى للولايات المتحدة .

الشمالى ، وهى تختص على الأغلب بأوروبا وأمريكا الشمالية ، ولكنها تشترك فى كثير من الصفات مما يجعلها تمثل نمطا مناخيا واسع الانتشار ، إن لم يكن حتى تغيرا عالميا واضحا .[٣٥] وأكثر السمات بروزا فى الفترة منذ ٩٨٩ بعد الميلاد ، هى الفترة الدافئة حول ١٢٠٠ ، والحقبتان الباردتان حول ١٤٠٠ وفى القرن السابع عشر . وتسمى الأولى الحقبة الدافئة للعصور الوسطى ، وتكون الفترتان الباردتان معا ، العصر الجليدى الصغير .

وقد كانت هذه تغيرات كبيرة فى المناخ ، كان فيها فصل الشتاء أطول وأكثر قسوة ، وتجمدت فيها الموانى لمدد أطول ، مما أثر بدرجة ما فى أنشطة الناس . وقد دمرت بعض المجتمعات الهامشية ، ومثال ذلك أنه فى أثناء الحقبة الدافئة قام المكتشفون النرويجيون الرواد بتأسيس مستعمرات لهم فى جرينلاند . وكانت هذه المجموعات تقوم برعى الماشية على الحشائش التى تنمو على طول قيعان الأنهار ، وعاشوا هناك لمدة مئات السنين مع اتصال عارض أحيانا بأرض الوطن . ولكن عندما جاء العصر الجليدى الصغير اختفت الحشائش والماشية والمستعمرات نفسها .[٣٦] وهناك شواهد فى أمريكا الشمالية على أن مجيء البرودة بعد الفترة الدافئة ، حدث فجأة ، وأنه خلال قرن من الزمان اختفت القرى التى كانت موجودة فى السهول الشمالية العالية .

والأحداث المناخية المستنتجة من حفريات الآثار نادرة ، والمؤرخون الذين كانوا يأملون فى تفسير بعض الانتقالات التى حدثت فى أثناء تقدم حضارة معينة أو نجاحها ، على أنها استجابة لتغير مناخى ، وجدوا أن مثل هذه التأثيرات خادعة . ويتفق الجميع على أن السنوات ذات المناخ المتطرف بصورة خاصة يمكن أن يكون لها تأثير مباشر على الناس ويمكن قياسه . فالفشل الكبير فى المحاصيل ، كما

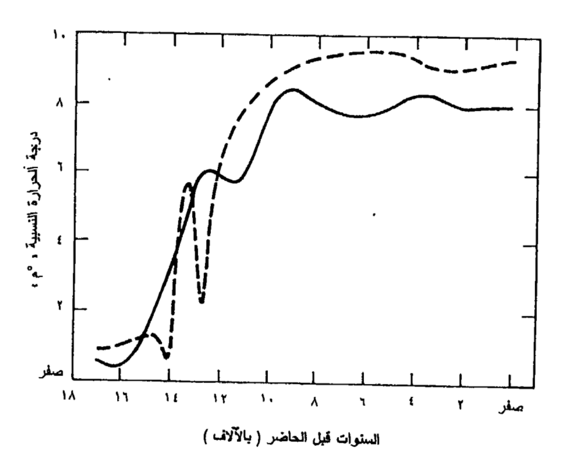
حدث فى ١٧٤٠ فى بعض أجزاء أوروبا ، بعد سنوات من الفصول ذات النمو الجيد ، يمكن أن يفاجىء الناس على غير استعداد ، ويؤدى إلى عسر شديد . ولكن عند النظر من بعيد ، يتضح لنا أن السنة السيئة ليست لها آثار دائمة . ويدعى بعض المؤرخين أنهم يرون تأثير المناخ فى أحداث كبيرة ، مثل انحدار حضارة العصر البرونزى المتأخر للميوسين ، منذ ثلاثة آلاف سنة مضت ، ومثل حركة سكان أوروبا عبر المحيط الأطلنطى ، الأحدث منها بكثير ؛ ويشير بعض الباحثين الآخرين إلى أن اتجاهات أخرى كانت آخذة فى الحدوث ، وكان يمكنها كذلك وعلى نفس قدم المساواة ، أن تؤدى إلى تغييرات ثقافية واقتصادية . بل كتب أحد المؤرخين يقول : « على المدى الطويل فإن تأثيرات المناخ على البشر تبدو ضئيلة ، وربما يمكن إهمالها ، وهى يقينا صعبة الاكتشاف » .(٣٧)

وتنشأ هذه الاختلافات فى الآراء جزئيا من الاختلاف حول ما نعتبره « تأثيرات على البشر » ، ومن الواضح أن أى تغيير فى المناخ قد يدفع الناس لفعل الأشياء بأسلوب يختلف عن أسلوب عملها من قبل . ولو أنهم تأقلموا بشكل مناسب ، فإن المؤرخين لن يجدوا تغيرات كبيرة فيما يتعلق بمعدل حدوث الجوع أو المجاعات ، ولن يجدوا زيادة فى الوفيات ، ولا فقدا فى التقدم الاقتصادى أو العسكرى بالنسبة للآخرين ، وبالتالى فقد يستخلصون من ذلك أن تغير المناخ كان له أثر قليل . وقد يلاحظ شخص آخر يدرس نفس الحقبة ، أن الناس قد قاموا بإجراء تعديلات هامة فى جدول زراعتهم ، وفى المحاصيل التى يزرعونها ، وفى التجارة التى يتبادلونها ، وفى ساعات عملهم ، حتى يتعايشوا مع المناخ الجديد ، ويقرر أن تغير المناخ كان له تأثير كبير على الناس . وفى أسوأ الظروف فإن التغير الفجائى فى المناخ يأخذ الناس على غرة ، ويتسبب فى المعاناة ؛ وحتى التغير البطىء يمكن أن يدفع بعض المجتمعات

الضعيفة حتى الحافة . وفى أفضل الظروف ، يتأقلم الناس سريعا مع التغيرات البطيئة بتعديل أنشطتهم .

وبالنسبة لما قبل الألف سنة الماضية ، فإن الشواهد الموثقة المتوافرة تختفى كلية ، ويصبح عالم المناخ معتمدا كلية تقريبا على ما يمكن استنتاجه من الجليد والأشجار ، والشطآن القديمة للبحار ، والبيانات الأخرى التى يمكن تفسيرها على أساس مناخى . ويمكن لجليد جرينلاند أن يكون مفيدا مرة أخرى . فعندما يتكون الثلج ويتساقط على الغطاء الجليدى ، فإنه لا يحفظ الشوائب فقط ، مثل الكبريتات والرصاص ، وتركيب الهواء مثل نسبة ثانى أوكسيد الكربون والميثان ، ولكنه يحفظ كذلك شيئا من تركيبه هو . والماء ، يد٢أ ، يحتوى على جزء صغير من الجزيئات على صورة من الأوكسجين الثقيل ، اوكسجين ١٨ ، ويحتوى على جزء أصغر من ذلك من الديوتيريوم ، وهو صورة ثقيلة للهيدروجين . وهذه الجزيئات ، باعتبارها أثقل ، تتحرك ببطء وتتداخل فى قشور الثلج بمعدل مختلف عن معدل جزيئات الماء العادية ، ويعتمد هذا الاختلاف على درجة الحرارة . وهكذا فإن قياس هذا الجزء من الثلج المنصهر المحتوى على الأوكسجين ١٨ ، أو الديوتيريوم ، من أعماق مختلفة فى جليد جرينلاند ، يمكن أن يبين درجة الحرارة منذ زمن طويل .

وتعطينا نتيجة فحص قلب الجليد هذه ، تقديرا لتغير درجة الحرارة (شكل ١٩) .[٣٨] وأبرز جوانب شكل (١٩) هو الدفء الذى بدأ منذ نحو أربعة عشر ألف سنة ماضية ، وقد ارتبط بوضوح بتراجع العصر الجليدى الأخير . ومن الواضح أن هذا التراجع كان متزامنا فى كل من المنطقتين القطبيتين الشمالية والجنوبية ، وهو يمثل تغيرا أكبر فى المقدار من أى تغير آخر حدث منذ ذلك الحين ، وقد حدث على مدار



شكل (١٩) : تقديران لدرجة الحرارة خلال السبعة عشر ألف سنة الماضية . وقد اشتقت هذه المنحنيات من قياسات لكمية الأوكسجين ١٨ فى جليد جرينلاند (الخط المتقطع) ، والقارة القطبية الجنوبية (الخط المتصل) .

عدة آلاف من السنين ، ومازال يؤثر فى الأرض . وفى المواضع التى حملت فوقها سمكا كبيرا للجليد ، تم ضغط الأرض تحت هذا الثقل . وعندما انصهر الجليد ، رفع هذا الثقل ، وبدأت الأرض المنضغطة ترتد أو ترتفع إلى مستوى جديد . ومازالت هذه العملية البطيئة مستمرة للآن - ففى اسكنديناڤيا مثلا ، يعتبر الانخفاض البطىء الواضح فى مستوى سطح البحر اليوم ، على أنه فى حقيقة الأمر ارتداد مستمر للأرض منذ عصر الغمر الجليدى الأخير . والأمر الأكثر أهمية لهذه

المناقشة يتمثل فى تلك الحقيقة التى تفيد أن التغير فى المناخ المصاحب لتراجع الجليد كان كبيرا بدرجة جعلت له نتائج كبيرة على النواحى الأساسية لبيئتنا . وتظهر خصائص هذا الأثر من دراسة حبوب اللقاح المترسبة فى البحيرات وفى المستنقعات خلال زمن التراجع .

وحبوب اللقاح شديدة الاحتمال ، ويمكن التعرف على النباتات المنتجة لها بفحص هذه الحبوب بعناية تحت الميكروسكوب . ويمكن كذلك تعيين التاريخ الذى ترسبت فيه فى البحيرة أو المستنقع فى كثير من الحالات بتحليل الكربون المشع للمادة العضوية عند أعماق مختلفة . ويمكن استعمال حبوب اللقاح لدرجة ما ، فى تعزيز معلوماتنا عن المناخ القديم . وإذا كانت حبوب اللقاح التى تم التعرف عليها وتأريخها ، قد جاءت من حشائش أو أشجار لا تستطيع تحمل صقيع الشتاء ، فيمكننا التأكد من أن فصول الشتاء كانت معتدلة فى ذلك الزمن . وإذا جاءت من نباتات تحتاج لقدر كبير من الماء ، فسنعرف شيئا عن سقوط الأمطار . ومع ذلك يجب استعمال المعلومات المستقاة من حبوب اللقاح بعناية ، حيث أن رد فعل بعض النباتات ـ وبخاصة الأشجار ـ تجاه تغير المناخ قد يكون متأخرا بعدة قرون ، ونستنتج من حبوب لقاح الأشجار ،أنه كان هناك تأثير واضح لتغير المناخ الكبير الذى حدث خلال الأربعة عشر ألفا من السنين الماضية .

وفى أثناء تراجع العصر الجليدى الأخير ، وزيادة دفء نصف الكرة الشمالى ، تغير وجه أمريكا الشمالية تماما ، إذ هاجرت أنواع من الأشجار التى كانت تنمو فيما نسميه الآن أوهايو وميتشجان ، إلى الشمال فى كندا لتجد مناخا تستطيع الازدهار فيه ، وتحركت أنواع أخرى من الأشجار من أقصى الجنوب إلى أوهايو وميتشجان . وحتى بعد تراجع الجليد إلى شمال كندا ، استمرت التغيرات فيما يشكل حاليا الولايات

المتحدة . وتحركت المراعى شرقا إلى إنديانا لمدة ألف سنة ، ثم عادت بعد ذلك إلى الغرب لتحل محلها أشجار فى مواقع شرق نهر المسيسبى . وانقرضت بعض أنواع النباتات فيما نسميه الآن الدانمرك ، عندما لم تستطع أن تقفز فوق البلطيق أو بحر الشمال لتواصل تقدمها نحو الشمال . (٣٩)

وهذه الهجرة الجماعية التى تتم أحيانا عبر مسافات تصل إلى آلاف الكيلومترات ، كانت مدفوعة بتغيرات فى متوسط درجات الحرارة يصل إلى نحو ١٠ درجات ، على مدى أكثر من ألفين من السنين ، أو بمعدل تغير فى درجة الحرارة يصل إلى ٠,٠٥°م كل عقد أو أقل . وفى أثناء العصر الجليدى الصغير ، وفى خلال المائة سنة الأخيرة ، تغيرت درجات حرارة نصف الكرة ، أو الكرة الأرضية كلها ، بمعدل يصل إلى ٠,٠٥°م فقط كل عقد ، ولكن هذه التغيرات لم تستمر لأكثر من قرن ، ولهذا لم تؤد إلى تغيرات كلية أكثر من درجة واحدة . وتعطينا هذه الأرقام طريقة لتقدير ما إذا كان تسخين المناخ الذى يعقب الزيادة فى الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، سيكون خطيرا أم لا .

وسيصل تركيز ثانى أوكسيد الكربون بالمعدل الحالى للزيادة إلى ٦٠٠ جزء من المليون بالحجم فى وقت ما فى الربع الثالث للقرن القادم . وستضاعف الغازات الأخرى المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، تأثير ثانى أوكسيد الكربون على وجه التقريب . ويمكننا من هذه الأرقام ، تقدير معدل التسخين بنحو ٠,٢ إلى ٠,٥°م كل عقد ، أى أسرع بنسبة أربع إلى عشر مرات قدر هذه التغيرات السابقة .

وهذا المعدل للتغيير أسرع كثيرا من أى حدث مناخى قديم مر على الحضارات الإنسانية ، ولهذا لا توجد هناك معلومات مباشرة عن أنواع الاضطرابات التى قد تسببها مثل هذه التغيرات للمجتمع الإنسانى . ولكن

هجرة الغابات يمكن أن توفر بعض الإشارات إلى نوع التغيرات التى يجب أن نتوقعها . ويبدو من غير المحتمل أن تستطيع أغلب أنواع الأشجار أن تهاجر بسرعة كافية تتمشى مع التغيرات المتسارعة . وتستطيع الأشجار الناضجة تحمل تغيرات كبيرة فى الظروف . ولكن فى الوقت الذى تكون فيه شجرة صغيرة قد نمت وكبرت بدرجة كافية لإنتاج البذور ، فإن المناخ لن يكون مناسبا حينئذ لشجرة جديدة كى تثبت جذورها ، وهكذا فإن كثيرا من أنواع الغابات سوف يختفى . وسيكون الضرر الواقع على الأشجار أكبر حتى من ذلك فى المناطق التى تكون فيها النباتات قد أصابها الضعف فعلا بالأمطار الحمضية فى التربة ، وبتأثير الأوزون والملوثات الأخرى على الأوراق العادية والإبرية .

والتغيرات فى مستوى سطح البحر ستصبح خطيرة أيضا . وفى أثناء قمة عصر الغمر الجليدى الأخير ، تم تخزين كثير من الماء على هيئة جليد فى جرينلاند ، وشمال كندا ، وفى القارة القطبية الجنوبية ، وعلى سلاسل الجبال العالية . ونتيجة لهذا ، كان مستوى البحر أقل بكثير مما هو عليه اليوم . وأكثر هذا الجليد قد انصهر الآن ، ولكن بعضا منه بقى كما هو ، والاستمرار فى الدفء سيتسبب فى استمرار الانصهار واستمرار الارتفاع فى مستوى سطح البحر . وتظهر تقديرات معدل الارتفاع ، مثل تقديرات ارتفاع درجة الحرارة ، تصاعدا إلى قيم تزيد على عشر مرات قدر تلك التى خبرناها فى القرن الماضى ، مع ارتفاع سطح البحر فى نهاية القرن القادم ، كما هو متصور ، إلى أكثر من متر واحد عما هو عليه اليوم . وأولى المناطق فى الولايات المتحدة التى ستتأثر ، ستكون تلك التى تجابه حاليا بعض المصاعب ، مثل شواطىء الساحل الشرقى المتآكلة ، ومناطق كبيرة فى جنوب لويزيانا . وتهبط الأرض تدريجيا بالقرب من مصب نهر المسيسبى فى لويزيانا ، ولكن الرواسب السابقة التى تترسب من حين لآخر من فيضان النهر تعوض

هذا الهبوط . ولكن نجاح سلاح المهندسين فى التحكم فى النهر ومنع الفيضان ، وتجهيز قنوات عميقة دائمة للسفن ، قطع هذا المدد من الأرض الجديدة ، وألقى الضوء على الانخفاض التكزيجى للمنطقة . وفى منطقة مثل هذه ، فإن الزيادة فى مستوى سطح البحر ، ولو ببضعة سنتيمترات ، من الممكن أن تجعل من المستحيل ، فى حدود التكلفة المعقولة ، إنقاذ مساحات كبيرة من الأرض من الغرق الدائم .

ولابد أن تتحرك جميع مصاب الأنهار إلى داخل الأرض كلما زاد عمق البحار ، وسيجبر ذلك الناس على الاختيار بين السماح بالهجرة ، وترك ما يشكل الآن مزارع وغابات ومدن ، أو بناء سدود مبنية لمنع الحركة وترك الإنتاجية العالية لغذاء البحر التى تتميز بها مصاب الأنهار . وحتى لو سمح بالحركة الحرة ، فإن بعض هذه المصاب سيكون غير قادر على الهجرة إلى داخل الأرض ، لأن الأرض شديدة الانحدار . وتقدر الدراسات الحديثة أن الولايات المتحدة ستفقد نصف أراضيها الرطبة الساحلية الحالية فى القرن القادم .[٤٠]

وقائمة الآثار الأخرى محتملة الوقوع طويلة ، إذ سيتطلب الأمر أن تحل محل المحاصيل التى تأقلمت على مدى معين من درجات الحرارة أنواع جديدة ، كما ستكون هناك حاجة لنقل الأنواع القديمة إلى قرب القطب . وستؤثر فصول الشتاء الأكثر دفئا فى تكون ثلوج الجبال المستعملة فى الرى ، وستسمح لبعض الآفات التى يتم التحكم فيها حاليا بواسطة برودة الشتاء ، بأن تعيش . وسيبطىء نمو الأشجار التى تتطلب فترات ممتدة من برد الشتاء كى تبدأ نشاطها المتجدد فى فصل الربيع . ومع وجود نمط مختلف من توزيع درجات الحرارة فوق الأرض ، ستحدث كذلك تغيرات ملحوظة فى نمط سقوط الأمطار . وحتى المناطق التى تحصل على نفس القدر من المطر ، ستجد أنه مع درجات الحرارة

العالية سيزداد تبخر الماء عند سطح الأرض ، وستكون هناك حاجة لمزيد من الأمطار للحفاظ فحسب على نفس مستوى رطوبة التربة خلال فصل النمو ، كما كان من قبل .

وكان كثير من تأثيرات تغير المناخ موضوعا للحساب والتخمين ، ولكن السؤال الأول الذى يحتاج إلى إجابة ، هو ما مدى الثقة التى يمكن وضعها فى هذه التقديرات المستقبلية المختلفة للمناخ سريع التغير .

الفصل الخامس
ولكن هل هذا صحيح ؟

الأرض بغلافها الجوى ومحيطاتها وكائناتها الحية ، عبارة عن نظام معقد ، حتى أن أى تحليل لتفاعل واحد - مثل كيف يرتبط تركيب الغلاف الجوى بدرجة الحرارة على سطح الأرض ، أو لماذا قد يؤثر حدوث تغير فى كمية الأوزون فى الاستراتوسفير على صحة بلانكتون المحيطات ؟ - يصبح عسيرا على الفهم ، ويسهل الشك فيه على حد سواء . وهناك كثير من السمات الأخرى لهذا النظام قد تم استبعادها من الدراسة ، حتى أصبح من الصواب أن نشك فى أن المناقشة - خاصة إذا كانت تخلص إلى أنه ينبغى القيام بعمل ما - ليست تنبؤًا دقيقا بالمستقبل ، ولكنها ناتج مصطنع للدراسة التى انتقت أجزاء بعينها من هذا النظام الكلى لكى تبحث فيها . وحتى نتغلب على هذا الشك ، فليس من المحتمل أن يستمع أحد إلى أى قدر من التحذيرات بشأن وجود حاجة ماسة إلى إجراء مبكر . والغرض من هذا الفصل ، هو إقناع القارىء بأنه على الرغم من هذه الصعوبات ، فهناك أسباب تدفعنا اليوم إلى الاعتقاد بأن التغيرات الرئيسية التى تنتج من عمل الإنسان ، على وشك الاتضاح ، وأن ننتهى إلى أنه يجب أخذ هذه التحذيرات بصورة جادة .

ويعضد حجم التأثير البشرى بقوة مثل هذا الاعتقاد . وقد يكون هناك

بعض الحق فى الارتياب فى أن دق الأرض بالقدم سيتسبب فى حدوث زلزال ، ولكن إذا ظن أحد العلماء أن أحد الزلازل يمكن أن ينشأ عنه زلزال آخر فى صدع مجاور ، فسوف يستحق هذا الأمر دراسة جادة . وتشبه المشكلات الخاصة بالغلاف الجوى هذا الموقف الأخير : فالأنشطة الجماعية للناس تنافس الآن أو تزيد على الظروف التى كانت تحكم المناخ والتفاعل بين الغلاف الجوى وبين الكائنات الحية لعصور مضت . لقد أثرنا على حياة النباتات والحيوانات فى كثير من المواقع عندما رفعنا كمية الكبريتات التى تدور حول نصف الكرة الشمالى ، إلى ثلاثة أضعاف ، وسببنا اضطرابا فى سريان الطاقة فى الهواء بشكل أقوى مما تفعله البراكين أو البقع الشمسية . وكان تأثيرنا على طبقة الأوزون كبيرا جدا وفجائيا لدرجة أصابتنا بالدهشة . وقد فرضنا كل هذه التغيرات بواسطة مواد أطلقتها أنشطتنا الصناعية والزراعية الزائدة ، فى الهواء . وإذا كان لدينا بعض الشك حتى الآن فى أننا بهذه القوة ، فإن علينا أن نتذكر فقط أن إطلاقاتنا فى العام القادم ستكون أكبر ، وتأثيرنا على الغلاف الجوى سيكون حتى أشد .

والسبب الثانى الذى يدعونا إلى الاعتقاد فى صحة التأثيرات التى يتوقعها العلماء ، أنها بدأت تحدث فعلا . فنحن نرى أن الكبريت يقتل البحيرات ، ونستطيع أن نقيس النقص فى الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية . وأكثر هذه التأثيرات انتشارا ، وهو تسخين المناخ ، ليس احتمالا مجدودا تصوره علماء المناخ ؛ فالحياة على الأرض تعتمد على وجوده ، كما جاء فى الفصل الرابع ، وهكذا فإن التسخين الإضافى المتوقع فى العقود القادمة ، عبارة عن امتداد منطقى لظاهرة مفهومة جيدا . وبالإضافة إلى ذلك ، فعند دراستنا لتسخين المناخ ، فإننا لا نقتصر على حالة أرضنا فقط ، ولكننا نستطيع أن نرقب كوكبين آخرين متماثلين فى الحجم وفى الموقف مع كوكبنا ، وأحدهما به

تركيزات أعلى بكثير من الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء فى جوه أكثر مما لدينا ، والآخر به كميات أقل بكثير . فالمريخ لا توجد به غازات محتبسة للأشعة تحت الحمراء تقريبا ، ودرجة حرارة سطحه - ٥٣°م ، وهى ما نتوقعه نتيجة بعده عن الشمس . والزهرة تحتوى على كميات من ثانى أوكسيد الكربون فى جوها ، تزيد بعدة مرات على ما فى جو الأرض ، ودرجة حرارة سطحها + ٤٢٧°م ، وهى أكثر سخونة مما يمكن تفسيره بقربها من الشمس . وتقع الأرض وسطا بين ذلك ، ففيها بعض الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء في جوها ، وتقع درجة حرارة سطحها بين درجتى حرارة الكوكبين الآخرين . والدليل إذن على أن تسخين المناخ مشكلة أصيلة ، أصبح أكثر قوة : فتسخين المناخ يعمل هنا (٣٣°م على الأرض اليوم) فى مدى واسع من الظروف (٣°م تسخين على المريخ ، و ٤٦٧°م تسخين على الزهرة) .

وهذه الحقائق مؤثرة إلا أنها غير كافية ، فالأرض تختلف عن جيرانها من الكواكب فى أنها مغطاة فى أغلب أجزائها بالمياه - المياه التى تختزن الحرارة ، والمياه التى تؤدى إلى تكوين السحب ، والمياه التى تكون الثلج والجليد . وعلى الرغم من أن المريخ والزهرة يقنعاننا بأن احتباس الأشعة تحت الحمراء أمر حقيقى ، فإن مشكلة معرفة الطريقة التى قد يسخن بها المناخ على الأرض ، تتضمن عمليات لا يمكن ملاحظتها فى أى مكان آخر ، ويجب أن تحسب على أساس من فهمنا لنظام مناخنا . وبعبارة أخرى ، فإننا مضطرون ، مرة أخرى ، إلى استعمال عمليات محاكاة رقمية أو نماذج ، مثلما فعلنا فى حالة الأمطار الحمضية وفى حالة النقص فى أوزون الاستراتوسفير . وكما سبق أن أوضحنا فى الفصل الرابع ، فإن نماذج المناخ تتنبأ بتسخين سوف يرفع درجة حرارة سطح الأرض فى العقود القليلة القادمة إلى

حد يشبه ما شاهدناه خلال العودة من العصر الجليدى الصغير التى استمرت مدة قرن كامل ، وبسرعة تزيد عشر مرات عنها خلال التراجع الطويل لعصر الغمر الجليدى الأخير .

ولا يدعو للدهشة أن يعلن أحد واضعى النماذج أمام جمهور من المستمعين له أن الأنشطة التى يتمتعون بها ـ مثل البقاء دافئين ، والسفر ، وتناول الطعام ـ تسبب تغيرات قد لا يستطيعون التأقلم معها ، وسيتمثل رد الفعل الطبيعى فى قدر كبير من الشك ، وسيتطلب ذلك إخضاع النموذج لأقصى حد من الفحص الدقيق .

وفى معركة العلماء الباحثين لتكوين نماذج حقيقية نافعة لتسخين المناخ ، أضافوا إلى نماذجهم تعقيدا بعد الآخر ، كلما أصبحت الحاسبات الآلية أكثر قوة ، ولهذا زادت معلوماتنا عن المناخ وأصبحت أكثر شمولا . وقد استبدل استعمال متوسط واحد لمحاكاة الظروف فى كل مكان على الأرض بحسابات أكثر تفصيلا ، مُثِّل فيها الغلاف الجوى بنقط متعددة على سطح الأرض ، وعدة نقط عالية فى أعماق الغلاف الجوى . ويخلى الحساب المفرد لدرجة الحرارة مكانه لحسابات تتم ساعة بساعة لنمط المناخ المتغير ، وتضمنت حسابات النماذج قائمة طويلة من العمليات الفيزيائية المعتقد فى أهميتها . وفى هذه النماذج المعقدة الحالية ، تتطور الرياح الحقيقية ، وتتكون السحب ، وتسقط ثم تختفى ، ويسرى الهواء فوق الجبال ، ويتم تبادل الرطوبة مع سطح المحيط ، وتتجمع رطوبة التربة وتتبخر ، وتأتى الثلوج والجليد ثم يختفيان مع الفصول فى مناطق خطوط العرض المرتفعة . فلماذا إذن تكون هناك بعض الشكوك حول الإجابات التى تعطيها هذه النماذج ؟

السبب فى ذلك أنه يبقى هناك بعض النقص حتى فى أغلب النماذج المتقدمة التى لدينا اليوم . ويكمن أغلب أوجه الضعف المثيرة للمتاعب

فى الطريقة التى يحاكى بها تكوين السحب . فالسحب بالغة التعقيد ، ومهمة جدا فى نفس الوقت فى أعمال المناخ (وبالتالى لنماذج المناخ) . وتعتمد كمية الإشعاع الشمسى المرتد إلى الفضاء بصورة حاسمة ، على كمية السحب وأنواعها ، وتعتمد كمية الطاقة تحت الحمراء التى تشع من قمة إحدى السحب إلى الفضاء على مقدار ارتفاع قمة السحاب فى الغلاف الجوى (وبالتالى مقدار برودتها) . ولكن تكون إحدى السحب ، أو نظام من السحب ، ونموه ، يتضمن من بين أشياء أخرى ، جوانب غامضة للحركة الرأسية للهواء ، والتشبع ببخار الماء ، ووجود عوامل قادرة على تكوين أنوية ، وتركيب درجة الحرارة الرأسية للهواء . وعندما تتكون السحب ، تحدث توازنات إشعاعية تعتمد على سمك السحب وحجم قطرات الماء ، والشوائب الموجودة بهذه القطرات ، وربما على كميات أخرى . وحتى أكثر نماذج المناخ تقدما المعروفة اليوم يمكن وضعها على أساس قليل من الأفكار البسيطة فقط . ومثال ذلك أنه كلما وجد النموذج أن الرطوبة النسبية أعلى من قيمة معينة ، فإنه يصنع سحابة قياسية فى هذا الموقع . أو قد تصدر إليه تعليمات بأن يصنع سحابة فى المكان الذى يكون فيه الهواء غير مستقر ، أو عندما تجلب الرياح منخفضة المستوى رطوبة جديدة إلى مكان بعينه .

وتنشأ نقطة الضعف الثانية من الطريقة التى تمثل بها النماذج الغلاف الجوى . وتجرى حسابات نماذج المناخ الحالية على أكبر الحاسبات الآلية المتوافرة التى تقوم بنصف مليار عملية كل ثانية . وعلى الرغم من ذلك ، فلكى نحتفظ بالحسابات فى حدود مصادر الحساب المتوافرة ، فإن عدد النقاط المستعملة لوصف الغلاف الجوى ، يجب أن يكون أقل من المرغوب فيه ، وينتج عن هذا غموض كبير فى التمييز بين الجبال والسهول ، والأرض والماء ، وبين السطوح المغطاة بالجليد والسطوح

المفتوحة . ومثال ذلك ، أن أحد نماذج المناخ الدقيقة المستعملة اليوم يستعمل نحو ١٩٠٠ نقطة فوق سطح الأرض ، وتمثل كل نقطة نحو ٢٧٠٠٠٠ كيلومتر مربع . وعلى هذا فإن نقطة واحدة يجب أن تمثل الظروف المتوسطة فوق كل اليونان بالإضافة إلى بحر إيجه ، أو فى الولايات المتحدة ، كل نيو مكسيكو من الجبال المغطاة بالأشجار إلى الصحراوات ذات الرمال البيضاء .

وأخيرا ، فإن محاكاة المحيطات ضعيفة فى نماذج المناخ . والنموذج الذى يتضمن بصورة واقعية ، كل ظواهر الغلاف الجوى الهامة ، مع تحليل فراغى دقيق ، سوف يبقى غير كاف للتعامل مع كل سمات تغير المناخ خلال العقود أو القرون إلا إذا أمكن ربطه بنموذج مناسب للمحيطات . وهذه المساحات الشاسعة من الماء يمكن أن تمتص وتعكس بخار الماء والحرارة ؛ ويمكن أن تنقل الحرارة من موقع لآخر ؛ وهى تكون خزانا كبيرا للحرارة يستطيع تعديل السرعة التى تتصاعد بها درجة حرارة الكرة الأرضية . ولكن ما يزيد من صعوبة إدخال هذه العمليات فى النماذج ، هو حقيقة أن المحيطات ليست عوامل خارجية مستقلة فى نظام المناخ ؛ فهى جزء لا يتجزأ منه . فتيارات المحيط التى تساعد على تحديد درجة حرارة سطح البحر ، تسوقها الرياح ؛ ودورات المحيط العميقة ، تدفعها بعض ظواهر الغلاف الجوى ، مثل المطر والهواء البارد الذى يغير من كثافة ماء البحر ، وبذلك يتحكم فى الوقت الذى يغطس فيه الماء إلى الطبقات العميقة وفى المكان الذى يعود فيه إلى السطح . والهواء برياحه ، والمحيط بدورانه ، يساعد كل منهما فى دفع الآخر ، ويعتمد كل منهما على الآخر ، والحسابات التى تتضمن المحيطات يجب أن تكون متقدمة بدرجة كافية لتسمح بهذا التفاعل ثنائى الاتجاه .

وتنتج المحيطات كذلك تأثيرات عابرة . والطريقة المعتادة السابق وصفها ، لإنتاج حسابات النماذج ، تحتفظ بتركيز الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ثابتة عند القيمة الحالية أو ضعفها ، خلال محاكاتها لعدة سنوات . ولكن كمية ثانى أوكسيد الكربون والغازات الأخرى المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، تتغير بصفة دائمة اليوم ، ومن المحتمل أن تظل فى تغير لمدة عشرين أو خمسين سنة من الآن . ولن يسبب ذلك صعوبة كبيرة إذا لم يكن هناك تأخر زمنى فى تأثير التسخين الناتج من خزان الحرارة الكبير للمحيط . ويختلف توزيع الأرض والمحيطات كثيرا فى نصف الكرة الجنوبى ، عنه فى نصف الكرة الشمالى ، ولهذا يمكن أن نتوقع أن يكون التأخر الزمنى الناتج من المحيط فى عملية التسخين مختلفا كذلك فى نصفى الكرة . ومن المحتمل أن يسخن نصف الكرة الشمالى ، وبه أغلب الأرض اليابسة ، بسرعة أكبر من نصف الكرة الجنوبى الذى يحتوى على أغلب محيطات الأرض . وهذا الفرق قد يحدث تغيرات فى الدورة العامة للغلاف الجوى ، لا تظهر فى نوع الحسابات ذات الحالة الثابتة المنوه عنها أعلاه .

وإضافة إلى هذه المشكلات ، هناك احتمالات بأن يتعرض دوران المحيط نفسه - المدفوع بالرياح والأمطار والتبخر - لتغيرات كبيرة مع تطور دوران الغلاف الجوى ، وبذلك يحدث تغيير فى كثير من السمات الرئيسية للنظام المناخى الكلى ، مثل انتقال الحرارة بعيدا عن خط الاستواء ، أو معدل انتقال الحرارة إلى المحيط . والعلماء ليسوا على ثقة فى أن محاكاة ظواهر المحيط التى تتضمنها نماذج المناخ ، مفصلة بدرجة تسمح حاليا للنموذج بأن يتنبأ بمثل هذه التغيرات . وحتى تتحسن محاكاة المحيطات ، والتفاعلات بين المحيط والهواء ، فإن النماذج سوف تكون نافعة فقط للتنبؤ بالتغيرات واسعة المدى المعتادة التى تأخذ

مجراها باستمرار بعيدا عن مناخ اليوم ، وليس بالتغيرات العنيفة أو الفجائية التى قد تحدث إذا ضغطنا على النظام بأكثر من ذلك .

وتنتج كل نقط الضعف هذه معا أوجه القصور التى يتكرر ذكرها والتى تتسم بها نماذج المناخ : وحتى الآن ، فهى تبدى قدرة قليلة على وضع تقدير مستقبلى للظواهر الإقليمية لتسخين المناخ ـ مثل مدى السخونة التى ستصل اليها « كانساس » فى عام ٢٠٣٠ ، وماذا سيكون متوسط سقوط الأمطار فى منطقة « السهل الإفريقى » فى عام ٢٠٤٠ ؟ نحن نعرف من دراسة تغيرات المناخ الصغيرة فى الماضى القريب ، أن جميع المساحات لا تسخن وتبرد بنفس المعدل . ففى النصف الأول من هذا القرن ، عندما كانت درجة حرارة نصف الكرة الشمالى تزداد بنصف درجة (شكل ١٦) ، ارتفعت درجة حرارة بعض المواقع بخطوط العرض المتوسطة بأربعة أمثال هذا القدر ، بينما بردت بعض المواقع الأخرى (الأشكال ١٢ ـ ١٤) . وفى الوقت الذى يبدو فيه محتملا أن تسخين المناخ الناتج من الغازات النزرة ، قد يسبب تغيرات مماثلة ، فإننا لا نستطيع أن نتنبأ اليوم بالتوزيع الحقيقى . وتتفق نماذج المناخ المعقدة عموما على مقدار الاحترار العالمى ، وعلى الاحترار الأكبر كثيرا بجوار القطبين ، وبخاصة على حواف المحيط القطبى . ولكن تختلف تفاصيل التسخين فى كل منطقة اختلافا جوهريا من نموذج لآخر . وبالمثل تظهر تجارب النماذج هذه ، زيادات فى سقوط الأمطار فى بعض المواقع ، ونقصا فيه فى بعضها الآخر ، ولكن الاتفاق بين النماذج المختلفة ضئيل . وهذه الحدود التى تقف عندها قدرة النماذج لن تسهل إزالتها ، حتى يتحسن فهمنا لكثير من الجوانب المتعلقة بالمحيطات ، مثل الاختلاط الرأسى للحرارة من السطح إلى أسفل ، وعلاقة دورة المحيط بالظروف السطحية . وإلى أن يتحقق ذلك ، فإن محاكاة التأثيرات العابرة ستحتاج إلى تشغيل طويل للحاسب الآلى ، ربما

لمدة مائة عام من زمن المحاكاة ، مع استعمال نماذج محاكاة محسنة للمحيط ، وشبكة متقاربة من النقاط وإضافة كميات متزايدة تدريجيا من الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء .

وللإيجاز ، تعتبر نماذج المناخ اليوم نماذج معقدة ومتقدمة وواقعية ، وهى كذلك نماذج غير مصقولة وتقريبية ، ومازالت تتطور . ولهذا فنحن نسأل مرة ثانية : هل نصدقها عندما تخبرنا بمستقبل قد يكون مختلفا بصورة درامية عن الحاضر ، وربما يكون مختلفا بصورة غالبة ؟ وللإجابة عن هذا السؤال يجب أن نكتسب ثقة فى النماذج باختبارها بعدة طرق .

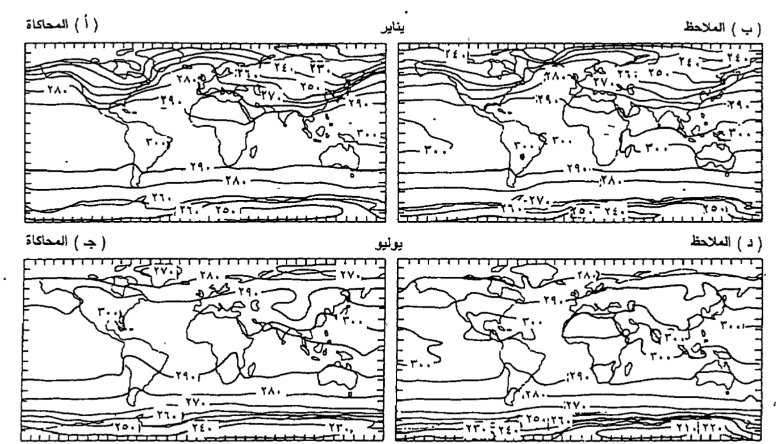
وتتضمن الاختبارات الأولى للنماذج ، عقد مقارنات مع أنواع المناخ الفعلية : مثل مقارنة حسابات النماذج مع المناخ الحالى ، وعقد مقارنة مع تغيرات المناخ الحالية ، وعقد مقارنة مع مجموعة من البيانات التاريخية . ويمكن مقارنة أبسط نماذج المناخ فقط مع المتوسط طويل الأمد لدرجات حرارة الكرة الأرضية ، على حين أن النموذج المثالى يجب أن يتنبأ بدقة بمتوسط درجة الحرارة ، والضغط ، والترسيب ، وغير ذلك من السمات ، ليس فقط بالنسبة للأرض ككل ، ولكن بالنسبة لكل موقع على الأرض . ويجب كذلك أن يعيد النموذج وبدقة استنساخ التذبذبات حول المتوسط ، من عام لآخر . والنماذج الحالية تقع بين هذين الطرفين ، ولكنها مفصلة بدرجة كافية تسمح بإجراء اختبارات متنوعة .

أولا ، من الممكن أن نسأل عما إذا كان النموذج يبدو معقولا . هل التفاصيل الداخلية للنموذج صحيحة . ومثال ذلك هل سريان الطاقة صحيح بقدر كاف ، وهل تحاكى التذبذبات ما يحدث فعلا ، وهل محاكاة الرياح صحيحة ؟ ويتصدى أفضل النماذج الحديثة لهذه التحديات بصورة

طيبة ، ويمكن حينئذ أن نعرضه للاختبار التالى ، وفيه نسأل عن مدى دقة محاكاته لمناخ اليوم . ويبين شكل (٢٠) مقارنة للمناخ ممثلا بدرجات حرارة السطح ، كما تم حسابها فى نموذج حديث ، وكما لوحظت فعلا على الأرض خلال الثلاثين عاما الماضية . والنمط الكلى متشابه بصورة تدعو للدهشة ، فالمناخ فى المناطق الكبيرة كان على الأغلب صحيحا . وحتى الأخطاء التى وجدت يمكن تفسيرها بسهولة ، ومثال ذلك أن درجة الحرارة التى يعطيها النموذج لانجلترا وايرلندا فى يناير كانت أبرد قليلا (٢٧٠ بميزان كلفن(*)) من الدرجة المشاهدة (٢٨٠ بميزان كلفن) . وفى هذا النموذج بالذات ، يتم تمثيل سطح المحيط ، ولكنه لا يتضمن دوران المحيط ، ولهذا فإن تيار الخليج الدافىء لا يتوافر فى النموذج ليرفع درجة حرارة غرب أوروبا إلى القيمة الفعلية لها .

وتساعد هذه المقارنات الاستاتية مع مناخ اليوم ، على بناء ثقتنا فى النماذج ، ولكنها لا تستطيع أن تضمن لنا أن هذه النماذج ستكون نافعة بالمثل عند استخدامها فى تقدير تغير مناخى ما . لذلك فإن علينا ، كلما كان ذلك ممكنا ، أن نقارن تنبؤات النماذج مع التغيرات الفعلية فى المناخ . وتظهر هنا مشكلة ، فإن المتنبىء الجوى عنده مائة فرصة فى أثناء العام لعمل تنبؤ مدته ثلاثة أيام ، واختباره فى ضوء ما يحدث فعلا . أما واضع نماذج تغير المناخ فعليه أن ينتظر نصف عمره لعمل اختبار واحد على مدى دقة التقديرات المستقبلية التى تضعها النماذج . فإذا قدر النموذج أن درجة حرارة الأرض سترتفع بكمية لا يمكن تحملها ، فسيكون الوقت قد فات للقيام بأى عمل لمنع هذا التغير . وهكذا فإن واضع النماذج عليه أن يلجأ ، إما إلى التغيرات البطيئة للمناخ فى

(*) ميزان كلفن بالدرجات المطلقة (صفره يساوى - ٢٧٣° سنتيغراد) . (المعرّب)



شكل (٢٠) : مقارنة بين درجة حرارة السطح كما حسبت فى نموذج مناخى ، وكما لوحظت . والرسمان البيانيان العلويان ، يمثلان مناخ يناير ، والسفليان يمثلان مناخ يوليو . وتمثل الخطوط الكنتورية المناطق التى تتساوى فيها متوسطات درجة الحرارة ، وموضحة عليها بدرجات ميزان كلفن . ولتحويلها تقريبا إلى درجات مئوية (سلسيوس) ، اطرح ٢٧٣ من هذه الأرقام . والكنتور عند ٢٨٠ درجة ، الذى يمر خلال « كيب هورن » فى محاكاة يناير ، يصل بين الأماكن التى تصل درجة حرارتها إلى ٧°م ، وهى تزيد بضع درجات فوق نقطة التجمد .

الماضى ، التى يمكن جمع معلومات كافية عنها ، وإما إلى التغيرات الحديثة الأكثر سرعة لإيجاد فرصة لإجراء المقارنات .

والتغير المناخى الأكثر سرعة هو أيضا التغير الأكبر . والتغير من الصيف إلى الشتاء كل عام ، بالنسبة لأغلب الأرض ، هو تحول كبير جدا فى المناخ يدوم لعدة شهور ، وسببه المعروف جيدا هو حركة الشمس السنوية من جنوب خط الاستواء إلى الشمال ثم عودتها ، وقد تم توثيقه فى الأزمنة الحديثة بأحدث الأدوات . ويعتبر تغير الفصول حالة مثالية يمكن أن نختبر عليها قوة تنبؤ نماذج المناخ . ومما يثير التعجب ، أن النماذج أصبحت فى السنين الأخيرة فقط قادرة على إعادة تكوين صورة هذا التغير . كانت كل عمليات المحاكاة السابقة مصممة لأخذ المتوسط خلال عدة سنوات ، ولهذا تم إهمال حركة الشمس للشمال والجنوب كل عام لتبسيط برنامج الحاسب الآلى ، وتوفيرا لوقت التشغيل . ولكن عندما توافرت الحاسبات الآلية الأكثر قوة ، ومع تزايد الاهتمام بمعرفة مدى واقعية نماذج المناخ ، تم إجراء هذه المحاكاة التى تتضمن انفصول ، وأثبتت النماذج جدارة . ويبين شكل (٢٠) أن المضاهاة بين النموذج والطبيعة جيدة بالنسبة ليوليو كما هى جيدة بالنسبة ليناير .(٤١)

وقد استخدمت كذلك لاختبار النماذج ، الظواهر الحديثة التى لم تفهم جيدا بعد ، مثل دورة الفصول . ويرتبط « إلنينو » ، وهو عبارة عن احترار يحدث أحيانا لسطح القطاع الشرقى للمحيط الهادى عند خط الاستواء ، بنمط مميز للجو فوق شمال المحيط الهادى وفوق أمريكا الشمالية . فعندما يكون « إلنينو » شديدا ، تكون التغيرات المجاورة واضحة ، مثل الرياح غير المعتادة ، والأمطار الأغزر من المعتاد ـ مع تأثيرات أخرى أخف تتم ملاحظتها فوق مساحات كبيرة جدا ، تشمل

شمال المحيط الهادى وشمال القارة الأمريكية والمحيط الأطلنطى . وعلى الرغم من أن ما يسبب احترار سطح شرق المحيط الهادى مازال فى الأساس غير مفهوم جيدا حتى الآن ، فإن أفضل النماذج الحالية تعطى صورة كيفية صحيحة للتأثيرات التى تصيب المساحات الكبيرة عندما تتغير درجات حرارة المحيط فى النموذج بالشكل المناسب .

وتعتمد اختبارات التحقق التى تستعمل حالات المناخ فى الماضى ، على مقدرتنا على تجميع صورة مناسبة للتغير فى الماضى ، ومعرفة سبب هذا التغير أو تخمينه . ومنذ تراجع العصر الجليدى الأخير ، حدثت بعض التغيرات فى المناخ يمكن وصفها بشكل جيد ، وكان الانتقال من العصر الجليدى إلى العصر بين - الجليدى الحاضر ، تغيرا أكبر حتى من ذلك . وتشير النظرية الفلكية ، والشواهد المستمدة من الملاحظة ، إلى أن التغير البطىء فى مدار الأرض حول الشمس ، سبب هام فى تكون العصور الجليدية ، وبالتالى قد يكون سببا فى تغيرات المناخ الصغيرة منذ ذلك الحين . وقد نجح العلماء فى تجميع صورة عن تغيرات المناخ التى حدثت منذ تراجع عصر الغمر الجليدى الأخير ، بما فى ذلك ليس فقط بعض المعلومات عن درجات الحرارة ، ولكن أيضا بيانات متفرقة ، مثل مستويات سطح بحيرات مختلفة حول العالم . ومستويات سطح البحيرات ليست مؤشرات بسيطة للمناخ ، حيث أنها تتضمن سقوط الأمطار (التى تسهم فى كميات المياه الداخلة إلى البحيرة) ، ودرجة الحرارة (التى تحكم جزئيا ، تبخر الماء من البحيرة) ، وعوامل خاصة بكل بحيرة مثل ميل الماء إلى الجريان إلى حوض آخر ، أو إلى نهر بعد أن يرتفع إلى مستوى معين . ولكن على الرغم من هذه الصعوبات ، فإن الحسابات الحديثة للنماذج التى تتخذ نقطة بداية لها ، موضع الشمس فى السماء منذ تسعة آلاف سنة مضت ، تعطى صورة واقعية إلى حد ما ، لمستويات البحيرات فى أفريقيا ، وفى

جنوب غرب الولايات المتحدة فى ذلك الزمان .[٤٢]

خلاصة القول ، إن التحسينات التى حدثت فى تركيب النماذج وتقدمها ، فى العقود القليلة الأخيرة ، والاختبارات المختلفة التى أجريت باستعمال هذه النماذج ، أدت إلى تزايد الإحساس بأن النماذج ، قد وصلت على الرغم من بعض عيوبها الباقية ، إلى درجة نافعة من الواقعية ، وأن تقديراتها المستقبلية يجب أن تؤخذ بجدية . وتفسر نقط الضعف الباقية للنماذج ، المدى الواسع للقيم التى يتم التنبؤ بها للتسخين فى المستقبل . ولكن فى حدود ذلك المدى ، فإن العبارة التالية تكون صحيحة فى أى موضع منه : إذا كانت تركيزات الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء فى الغلاف الجوى قد استمرت فى الزيادة كما توضحها الاتجاهات الحديثة ، فإن متوسط درجة حرارة سطح الأرض سيصبح قريبا أعلى من أى وقت خبره الإنسان .

ولكن هل ستستمر تركيزات هذه الغازات النزرة ، فى الزيادة كما فعلت فى الماضى القريب ؟ تعتمد كمية الزيادة فى هذه الغازات فى الهواء على ما إذا كانت المجتمعات على مستوى العالم ستقرر أم لا ، أن تقوم بتنظيم الأنشطة الصناعية والاقتصادية التى تطلق هذه الغازات فى الهواء . ولسنا قادرين بعد على أن نقدر على نحو موثوق به ، الاتجاهات الصناعية والزراعية ، فى غياب السياسات التى تحكم انبعاثات الغازات النزرة . وباستثناء واحد ، فليس هناك فى الأفق ، أى تحرك كفء نحو سياسة عالمية حتى الآن . ومن ثم ، فإن النهج القياسى لتقدير هذه التركيزات المستقبلية ، يتمثل فى مناقشة المعدلات الحالية للتغير فى الغازات النزرة فى الغلاف الجوى ، ثم نفكر فى العوامل التى تساعد على تعديلها فى المستقبل . وكل غاز هام ، ممتص للأشعة تحت الحمراء ، يمثل وحده قضية منفصلة تقريبا .[٤٣]

وقد كان ثانى أوكسيد الكربون هو أول غاز تم التسليم بأهميته بالنسبة للمناخ ، ولذلك حظى بأغلب الاهتمام . ويقدر أن تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء بلغ منذ مائة سنة مضت ، نحو ٢٦٠ و ٢٨٠ جزءا من المليون بالحجم ، وتبين القياسات الحالية تركيزا يصل إلى ٣٥٠ جزءا من المليون بالحجم ، مع زيادة سنوية تقدر بنحو ١,٥ جزء من المليون بالحجم . ومن المؤكد أن أغلب هذه الزيادة يعود أولا إلى استعمال الوقود الأحفورى فى توليد القوى الكهربائية ، وفى النقل ، وفى التسخين فى المنازل ، وفى العمليات الصناعية . ومن الأهمية بمكان أن نسلم بأن ثانى أوكسيد الكربون ليس مادة ملوثة بالمعنى المعتاد ، وأنه ناتج نهائى ضرورى للتحويل الكامل لأى وقود أحفورى إلى طاقة . ويتكون الفحم فى أغلبه من الكربون ، وعند احتراقه احتراقا كاملا ، فإن الناتج النهائى بالإضافة للحرارة ، هو ثانى أوكسيد الكربون . والوقود الأحفورى السائل أو الغازى عبارة عن هيدروكربونات ؛ والغازات الناتجة من الاحتراق الكامل لهذه الأنواع من الوقود هى بخار الماء وثانى أوكسيد الكربون . وقد نتعلم كيف ننظف الفحم من الكبريت لتقليل مشكلة الأمطار الحمضية ، ولكن إذا نزعنا الكربون من الفحم ، فلن يتبقى لنا بعد ذلك وقود نافع .

وكمية ثانى أوكسيد الكربون التى تنطلق فى الهواء كبيرة جدا . وقد أدى استعمال الوقود الأحفورى عام ١٩٨٦ إلى وضع نحو ٥ مليارات طن من الكربون على هيئة ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء ، ومازال نصف هذه الكمية هناك . وبعبارة أخرى ، فإنه فى سنة واحدة ، قام كل « فرد متوسط » يحيا على سطح الأرض بإضافة طن واحد من الكربون ، أو أربعة أطنان تقريبا من ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى . (وليس هناك طبعا فرد متوسط ، فأى مواطن فى الولايات المتحدة يسهم بأكثر من ١٥ طنا فى السنة من ثانى أوكسيد الكربون

الجديد فى الهواء ، بينما يقل المتوسط فى بعض البلاد عن طن واحد) .
وعلى أية حال ، فإن هذه الأرقام الكبيرة لا تشجعنا على محاولة تصميم طريقة للإمساك بثانى أوكسيد الكربون فى أثناء انطلاقه من ملايين المداخن وأنابيب العادم ، وتخزينه بعيدا فى مكان ما .

وقد استخدمت طرق تقنية متنوعة لتقدير كمية الفحم ، والغاز الطبيعى ، والنفط ، المتبقية فى الأرض . وهذه التقديرات ليست مثالية ، ولكنها جيدة بدرجة كافية لبيان أن الاحتياطيات الباقية من هذه الأنواع من الوقود لن تساعدنا على وضع حد نافع لكمية ثانى أوكسيد الكربون التى يمكن إطلاقها . ويمكن أن نضاعف بسهولة تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى مرتين ، أو نزيده أربع مرات أو ثمانى مرات ، باستخدام هذه الاحتياطيات المعروفة من الوقود الأحفورى . ويجب أن تتركز تقديرات الانبعاثات مستقبلا على ما يمكن أن تفعله المجتمعات بالنسبة لاستخدام الطاقة ، وليس على مقدار ما يتوافر لنا من الفحم أو النفط أو الغاز .

وقد أدت دراسات مختلفة إلى وضع تقديرات متباينة عن استخدام الوقود الأحفورى فى المستقبل . ويتوقع بعض المحللين المبهورين بتاريخ المجتمع البشرى الطويل فى التنمية والتصنيع ، وبالوقت الطويل المطلوب لترسخ على نطاق واسع التكنولوجيات الجديدة ، والوقود الجديد ، أنه سيحدث توسع مستمر فى استعمال الوقود الأحفورى . ويتوقع آخرون ممن يلاحظون التبديد المصاحب لكثير من استخدامات الوقود الأحفورى الحالية ، أن الاعتبارات الاقتصادية ستدفع إلى مزيد من تحسين كفاءة استخدام الوقود الأحفورى ، وإلى حدوث انخفاض بطىء فى استهلاكه العالمى . وقد بلغ معدل زيادة انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون منذ منتصف السبعينات ، نحو ١,٣ فى المائة كل عام . وأخذ

استخدام الوقود الأحفورى على مستوى الكرة الأرضية ، فى التوسع بما يزيد على ٤ فى المائة فى العام ، حتى تسبب حظر النفط عام ١٩٧٣ ، وما نتج عنه من ارتفاع كبير فى سعره ، فى إبطاء هذا المعدل إلى أقل من ٢ فى المائة . ومع ذلك ، فقد انخفضت أسعار الوقود منذ ذلك الحين . وبدأ استهلاك الولايات المتحدة للوقود ، فى الزيادة مرة أخرى . ويؤدى معدل نمو سنوى قدره ١,٣ فى المائة إلى وصول ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى إلى ٤٠٠ جزء من المليون بالحجم عام ٢٠١٥ ، وإلى ٦٠٠ جزء من المليون بالحجم عام ٢٠٧٦ ، وقد تصل كميته بمعدل نمو يبلغ ٤ فى المائة إلى ٤٠٠ جزء من المليون عام ٢٠٠٩ ، وإلى ٦٠٠ جزء من المليون عام ٢٠٣٩ .

وهذه التقديرات لتركيزات الغلاف الجوى مستقبلا ، لا تعتمد فقط على معدل انبعاث ثانى أوكسيد الكربون ، ولكن تعتمد أيضا على المعدل الذى تستطيع به عمليات متباينة تجرى ، على الأرض وفى المحيط ، أن تمتص هذا الغاز وتحوله إلى صورة أخرى يتم تخزينها بعيدا عن الغلاف الجوى لمدة طويلة . ويتم أغلب هذا الاختزان فى المحيط من خلال دوران مياه السطح المشبعة بثانى أوكسيد الكربون المذاب ، وانتشاره إلى أعماق المحيط . وتستكمل هذه العملية بفعل الكائنات الصغيرة فى المياه السطحية ، والتى تستعمل ثانى أوكسيد الكربون لتكوين أصدافها أو أجسامها ، ثم تموت وتهبط إلى قاع المحيط . وعلى الأرض يتركز الاهتمام بشكل أقل على تخزين ثانى أوكسيد الكربون بنمو مزيد من النباتات ، ويتركز بشكل أكبر على احتمال أن تؤدى إزالة الغابات ، وبعض التغيرات الأخرى فى استعمال الأرض ، إلى إضافة مزيد من ثانى أوكسيد الكربون . فإذا ما تحولت غابة ما إلى أرض لزراعة المحاصيل ، فإن الكربون المختزن فى الأشجار سوف ينطلق

إلى الهواء فى نهاية الأمر ، على هيئة ثانى أوكسيد الكربون ، إما عن طريق إحراقها ، أو بطريق التحلل البطىء للخشب . وعلى العكس من ذلك ، فإن الغابة الجديدة سوف تأخذ ثانى أوكسيد الكربون وتختزنه مدة طويلة طالما استمرت الكتلة الحيوية الإجمالية فى الغابة على نفس مستواها . وقد بينت دراسات حديثة أن إزالة الغابات تطلق فقط نحو ربع ثانى أوكسيد الكربون الجديد الذى يظهر فى الجو ، ولكن ربما كانت هذه النسبة أكثر أهمية فى التراكم السابق لثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ، فى القرن التاسع عشر .

وتشير دراسات الكربون المختزن فى الأشجار أيضا إلى أن دول العالم تقوم بإعادة زراعة الغابات على نطاق واسع ، أو تضطلع بمشروعات لغرس غابات جديدة ، بزراعة الأشجار فى أراض كانت مستخدمة كمراع أو كأراض لزراعة المحاصيل . ومع نضج الأشجار تستطيع هذه الغابات أن تمتص ثانى أوكسيد الكربون ، وعندئذ يمكن أن توفر أراضى الأخشاب وقود الخشب دون انقطاع إذا تم قطعها بنفس المعدل الذى تنمو به كل سنة . ومع ذلك ، فإن مساحة الأرض المطلوبة لأخذ نسبة كبيرة من ثانى أوكسيد الكربون الناتج من استخدام الوقود الأحفورى ، كبيرة . ولو أننا استطعنا أن نزرع ١٠ فى المائة من كل أراضى المحاصيل وأراضى المراعى الموجودة على الأرض ، بالأشجار اليوم ، فإن نموها السنوى سوف يزيل نحو خمس ثانى أوكسيد الكربون الذى نضيفه إلى الهواء كل عام . وعند إضافة هذا القدر إلى النصف الذى تزيله المحيطات فعلا ، فإن هذه الأشجار سوف تبطىء ، ولكنها لن توقف ، الزيادة المستمرة فى تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ، وسوف تفعل ذلك فقط خلال السنوات التى تنمو فيها الأشجار إلى حد النضج .

ويمثل كل غاز من الغازات الأخرى المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، مشكلة مختلفة . والأنواع الأبسط فى دراستها هى مركبات CFC . والممثلان الرئيسيان لهذه المجموعة هما CFC-11 و CFC-12 ، وهما يزدادان فى الهواء بمعدل سريع جدا ، يقرب من ٥ فى المائة فى السنة (بالمقارنة بنحو ٠,٥ فى المائة فى السنة لثانى أوكسيد الكربون) . وعلى خلاف ثانى أوكسيد الكربون ، لا يتفاعل هذان الغازان مع المادة الحية أو مع المحيطات ، وليس لهما مصادر غير بشرية ، وتتم صناعتهما كلية من أجل مجال ضيق من الاستخدامات الصناعية والمنزلية . ومن أجل الحاجة إلى منع المزيد من استنفاد أوزون الاستراتوسفير ، أصبحت هذه المواد حاليا موضوع اتفاقية دولية قد تؤدى إلى إبطاء نموها خلال العشرين سنة القادمة .

وأكثر الغازات صعوبة فى تناوله قد يكون هو الميثان ، الذى يزيد تركيزه فى الغلاف الجوى بنحو ١ فى المائة كل عام . وينطلق هذا الغاز فى الغلاف الجوى أساسا من التحلل اللاهوائى للبيوماس (الكتلة الحيوية) فى أماكن إلقاء مخلفات الصرف الصحى ، أو المستنقعات ، أو حقول الأرز ، أو فى الأجهزة الهضمية للماشية أو النمل الأبيض . ويهرب بعض الميثان من آبار الغاز الطبيعى ، ومن خطوط الأنابيب ، أو من رواسب الفحم ، وقد تتكون كمية قليلة منه على هيئة نواتج ثانوية لبعض العمليات الصناعية . وتتم إزالة الميثان من الهواء عندما يتفاعل مع شق الهيدروكسيل (شق غير ثابت يتكون من ذرة من الهيدروجين وذرة من الأوكسجين) . ولا يعرف السبب فى تزايد كمية الميثان فى الغلاف الجوى ، ولكن العلماء يظنون أن الزيادة فى مزارع الأرز ، وفى إنتاج الماشية ، والأعداد المتزايدة للنمل الأبيض فى المناطق الاستوائية ، والاستعمال المكثف لمقالب إلقاء مخلفات الحواضر ، والتنافس حول شق الهيدروكسيل من قبل أول أوكسيد الكربون المنطلق

من السيارات ومن الصناعة ، قد تكون كلها عوامل مسئولة عن ذلك .

وأوكسيد النيتروز ، وهو غاز آخر من الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، يغلفه شيء من الغموض ، وهو أيضا من النواتج الثانوية المعقدة للنشاط البيولوجي . وقد يكون استعمال الأسمدة الآزوتية في الزراعة هو السبب في زيادة تركيز أوكسيد النيتروز في الغلاف الجوى الملاحظ في السنوات الأخيرة . وهو يزداد حاليا بمعدل يصل إلى نحو ٠,٣ في المائة كل عام .

هذه هي الغازات الرئيسية التي لها القدرة على احتباس الأشعة تحت الحمراء ، والتي تنبعث إلى الهواء بآلية ما ، والتي يعرف الآن أنها تزداد في التركيز . ومع ذلك ، ينبغي ذكر غاز آخر ، وهو أوزون التروبوسفير(*) . فالأوزون لا ينبعث مباشرة في الهواء ، ولكنه يتكون في الجزء الأسفل من الغلاف الجوى بواسطة مجموعة معقدة من التفاعلات الكيميائية . وبالطبع ، فإن الأوزون مشهور حاليا بالفعل ، فهو أولا الغاز الموجود بأعلى الغلاف الجوى ، الذى يمتص الضوء فوق البنفسجى من الشمس ، وبذلك يقلل من كمية حروق الشمس التى يتعرض لها البشر ، وثانيا ، فهو الغاز الذى يساعد الأمطار الحمضية ، بالقرب من سطح الأرض ، على تدمير الغابات . ولكن الأوزون يمتص الأشعة تحت الحمراء كذلك بكفاءة ، وعلى ذلك فهو يصنف أيضا كغاز مسخن للمناخ . ومن المعتقد أن متوسط تركيز هذا الغاز يزداد فى الجزء الأسفل من الغلاف الجوى . وإذا كان لهذه الزيادة أصل بشرى ، فربما تعزى إلى إطلاق أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات فى الهواء - وهى نواتج ثانوية لدائرة واسعة من الأنشطة الصناعية والزراعية ، من

(*) التروبوسفير : الطبقة السفلى من الغلاف الجوى . (المعرب)

قيادة السيارات إلى تربية الماشية . وتضيف هذه الغازات إلى سلاسل التفاعلات التى تكوّن الأوزون ، وتزيد بذلك من تركيزه فى الجزء الأسفل من الغلاف الجوى . ويعنى وجود علاقة بين ثانى أوكسيد الكربون ومركبات CFC ، والأوزون ، وبين أنشطتنا الصناعية والمنزلية ، وكذلك وجود علاقة بين الميثان وأوكسيد النيتروز ، وبين الأنشطة الزراعية العالمية ، أن إطلاق هذه الغازات متشابك تماما مع تقنياتنا الحالية لتوفير متطلبات الصحة والازدهار . وليس من المرجح أن يؤدى إجراء تعديلات طفيفة فى التكنولوجيا أو فى المعونة الخارجية أو فى خطط إدارة ديون العالم الثالث ، من بين مجالات أخرى ، إلى الإبطاء من تغير المناخ بقدر كبير ، بل يجب اتخاذ خطوات رئيسية أخرى .

ومن الواضح أن تقدير التركيزات المحتملة فى المستقبل ، للميثان وأوكسيد النيتروز والأوزون ، أصعب بكثير من تلك الخاصة بمركبات CFC ، وثانى أوكسيد الكربون ، ولكن الأمر يتطلب نوعا ما من التقدير المستقبلى . ونحن نحتاج بصفة خاصة ، إلى أن نعرف هل ستحدث تغيرات مناخية كبيرة ، مع استمرار الانبعاثات بمعدلات ممكنة ومعقولة . ولإجراء هذا التقدير المستقبلى ، يمكننا أن نأخذ المعدلات الحالية لزيادة هذه الغازات ، (لكن مع استعمال قيم أقل لمركبات CFC ، لأن بروتوكول مونتريال ، حتى مع الحلول الوسط والتأخير فى التنفيذ ، سيبطىء بالتأكيد من هذه المعدلات إلى حد ما) ، ثم نقارن تأثيراتها المحسوبة مع تلك الخاصة بثانى أوكسيد الكربون ، مع افتراض أن استخدام الوقود الأحفورى سيستمر فى الارتفاع بمعدله الحالى . والاحترار الكلى المحسوب بهذا الأسلوب يصل إلى ضعف الاحترار الناتج من ثانى أوكسيد الكربون وحده .

وهذا التغير السريع فى المناخ ستكون له نتائج عديدة ذكرنا بعضها من قبل . ومن الممكن أن نتوقع أن سطح البحر الذى ارتفع بنحو ١٠٠ متر أو أكثر خلال تراجع العصر الجليدى ، قد يرتفع أكثر من ذلك . وسيتغير نمط سقوط الأمطار والتبخر ، مما سيدفع أنظمة ايكولوجية متنوعة إلى تغيير أماكنها ، وستتعرض الغابات الطبيعية للإجهاد ، وسيقتضى الأمر تعديل الأنماط الزراعية . ولنا أن نعتقد أن احتمال وقوع مثل هذا الاندفاع إلى مستقبل ينذر بالمخاطر ، سيوجه قادة العالم إلى انتهاج مسار أكثر حذرا ، وسيحفز على التقصى الأكثر دقة لهذا الموقف الجديد . والسبب فى أن هذا لم يحدث ، يرجع طبعا إلى صعوبة تخفيض أى شىء يرتكز عليه الاقتصاد العالمى الحالى ، مثل الوقود الأحفورى وإنتاج الغذاء .

وقد أدت هذه الصعوبة إلى إعادة فحص الأسس الرياضية والفيزيائية التى قامت عليها النماذج ، وإلى إعادة اختبار النماذج التى سبق وصفها ، وأدت كذلك إلى فحص دقيق لكل فرض من الفروض المستعملة فى النماذج ، وفى عملية التنبؤ بالتأثيرات الحادة ، لتعيين ما إذا كانت بعض مراحل الحسابات قد تؤدى إلى نتائج باعثة على القلق بدون موجب . ومن الممكن أن يغتفر لنا جميعا أننا نأمل فى أن تحد بعض أوجه النظام المناخى من درجة التغير بطريقة تلقائية ، أو أن تؤدى عملية ما لم ننتبه إليها فى المحيط أو فى الغلاف الجوى ، إلى تثبيت كميات ثانى أوكسيد الكربون والميثان وأوكسيد النيتروز والأوزون فى الغلاف الجوى . وربما حتى نقرر أن التسخين السريع سيأتى بخير أكثر مما يسببب من ضرر . ولكن حتى الآن ، فإن البحث قد جعل الموقف يظهر أكثر حرجا فقط .

ومنذ عقد مضى ، كان هناك نوع من الجدل حول حجم الزيادة فى

درجة الحرارة . وقد بينت بعض النماذج البسيطة احترارا أقل بكثير عن ذلك الذى حسبه « أرهينيوس » ، أو القيم التى تجرى مناقشتها اليوم . ولكن الفحص المتأنى أظهر أن هذه النماذج أهملت بعض الجوانب الحاسمة للمشكلة ، وأنها استبدلت حاليا بحسابات أكثر دقة ، وأكثر تعقيدا بكثير للتأثيرات المعروفة فى الغلاف الجوى .

ولكن هل هناك عصر جليدى قادم فى الطريق ؟ من المعروف الآن أن التغيرات البطيئة فى مدار الأرض حول الشمس مرتبطة بتقدم وتراجع عصور الغمر الجليدى الرئيسية . وعبر بضع ملايين من السنين ، شهدت الأرض ، فترات كانت فيها درجة الحرارة فى مثل دفئها الحالى ، واستمرت كذلك ربما لعشرين ألف سنة ، ثم تبعتها فترات أطول من الجليد والبرد . وقد خرجت الأرض من عصر الغمر الجليدى الأخير منذ نحو أربعة عشر ألف سنة خلت ، ولا يعرف العلماء سببا يدعو إلى عدم دخول الأرض فى فترة باردة أخرى خلال عدة آلاف من السنين القادمة . ومع ذلك ، فإن الانتقال إلى فترة جليدية بطىء - بضعة أجزاء من مائة من الدرجة فى كل عقد - وفى القرون القليلة القادمة سوف يتم إلغاؤه تماما بواسطة التسخين الأكثر سرعة الذى تسببه الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء .

وقد أشار العلماء وغيرهم ، إلى أن هناك عمليات ثانوية متنوعة فى النظام المناخى قد تعادل أغلب الاحترار . وقد تم فعلا تضمين عدد من العمليات الثانوية فى النماذج الرقمية . ومثال ذلك أنه كلما زادت حرارة سطح الأرض والجزء الأسفل من الغلاف الجوى ، زاد الإشعاع المرسل إلى أعلى ، وزادت بذلك الحرارة التى تهرب من خلال الغطاء المحتبس للأشعة تحت الحمراء ، مما يحد من كمية الحرارة التى تسخن السطح . وأحد الأمثلة للعملية التى تجعل التسخين أكبر ، يحدث خلال رد فعل

خط الثلج والجليد فى خطوط العرض المرتفعة ، إزاء الاحترار . فاحترار الغلاف الجوى يتسبب أولا فى انصهار خط الثلج والجليد ، وتراجعه إلى القطبين ، كاشفا الأرض التى هى أدكن فى اللون من الجليد ، مما يؤدى إلى زيادة كمية الحرارة الممتصة من الشمس ، وإلى حدوث مزيد من الاحترار .

وتمثل السحب تحديا عسيرا لواضعى نماذج المناخ . فالسحب تعكس ضوء الشمس بعيدا عن الأرض ، وهى تحتبس الحرارة بالقرب من سطح الأرض . وهكذا فإن أية تغيرات فى السحب قد تصاحب احترار المناخ ، يمكن أن تؤثر بقوة على كمية التغير فى المناخ المتسبب فيه الإنسان . وكثيرا ما تراهن التقارير الصحفية على أن الزيادة فى رطوبة الغلاف الجوى التى تصاحب احترار المناخ ، قد تؤدى إلى مزيد من السحب ، ومزيد من انعكاس ضوء الشمس ، وبالتالى إلى بطء أكثر فى تسخين المناخ . ومع ذلك ، فإن المجموعة الحالية من النماذج لا تبين انخفاضا فى اتجاه الاحترار يمكن أن يعزى إلى تغيرات فى السحب . وهذه النماذج نفسها تحاكى تغير الفصول من الشتاء إلى الصيف بصورة جيدة ، حتى بالرغم من تغير كل من الرطوبة والسحب ، وهى بذلك تزيد من ثقتنا فى الطريقة التى تعامل بها السحب فى هذه النماذج . والنماذج فى الواقع حساسة للكيفية التى يتم بها تضمين السحب فى الحسابات : فالفروق فى معاملة السحب ، هى سبب أغلب الفروق فى التسخين المقدرة بواسطة حسابات النماذج المختلفة ، ولكن جميع النماذج تتوقع تسخينا سريعا للمناخ مستقبلا عندما تقترن بالاستقراءات المستمدة من الانبعاثات الحالية .

وقد ركزت بعض التوقعات الأخرى على عوامل لا يتم تضمينها حاليا فى النماذج ، خاصة العمليات التى قد تغير من معدل انبعاث

الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء ، أو المعدل الذى قد تزال به هذه الغازات من الهواء . ويحيط أكبر قدر من عدم التيقن بما قد يقرر المجتمع فعله بالنسبة لمعدل انبعاث الغازات المحتبسة للأشعة تحت الحمراء . ونظرا لأن النماذج تستعمل لإسداء النصح للحكومات بالنسبة لتأثير انبعاث هذه الغازات بمعدلات متنوعة ، فقد يكون من العبث أن نحاول إدخال المجتمع فى النماذج ، حتى لو عرفنا كيف نفعل ذلك . ومع ذلك فهناك عمليات لا تتضمن أنشطة بشرية ، يمكن أن تؤثر فى معدلات الانبعاث أو الإزالة أو تعدلها . وقد تم فحص هذه العمليات على أمل أن نجد خلاصا تلقائيا من التسخين المتوقع مستقبلا . ومن أمثلة ذلك أن البحوث تزايدت لإيجاد طرق ممكنة لدفع الكائنات البحرية أو الغابات ، لزيادة امتصاصها لثانى أوكسيد الكربون ، وبذلك تزيل جانبا أكبر منه من الغلاف الجوى . وأبسط تأثير فى المحيط يعمل مع ذلك فى الاتجاه الخاطىء . فعندما يزداد دفء مياه السطح ، فإنها تذيب قدرا أقل من ثانى أوكسيد الكربون ، وتدل هذه الملاحظة على أن ما يأخذه المحيط سوف يقل فى المناخ الأكثر دفئا ، ولكن التنبؤ بما إذا كان انتقال ثانى أوكسيد الكربون إلى المحيط سوف يتغير فعلا كلما ارتفعت حرارة المناخ ، يعتمد على فهم أفضل للكيفية التى سوف يتغير بها دوران مياه المحيط . وهناك عمليات أخرى للمحيط قد تؤثر على هذه الأحداث ، ولكن ذلك يتم مرة أخرى ، فى الاتجاه الخاطىء . فقد تبعث رواسب الميثان المتشابكة فى قاع البحار القطبية الضحلة ، غاز الميثان عند ازدياد دفء هذه البحار ، وبذلك ترفع من حرارة الأرض بصورة أسرع . وستنمو بعض النباتات بسرعة أكبر بسبب الكمية الإضافية لثانى أوكسيد الكربون الموجود فى الهواء ، ولكن أغلب النباتات تموت أو تسقط أوراقها فى كل خريف ، وتعيد بذلك كثيرا من ثانى أوكسيد الكربون إلى الهواء ، وتقلل من كمية ثانى أوكسيد الكربون

المختزن طويلا بعيدا عن الهواء .

ويبقى هناك احتمال بأن تزيد الكمية الكلية للخشب وللمادة العضوية فى الغابات الناضجة وفى تربتها لأن الأشجار سوف يتوافر لها مزيد من ثانى أوكسيد الكربون ، يمكن أن تجرى به عملية التمثيل الضوئى . وتوازن هذا التأثير ، وقد تتفوق حتى عليه ، الزيادة فى معدل تحلل كربون الغابات نتيجة ارتفاع متوسط درجات الحرارة ، والزيادة فى النشاط البكتيرى التى تصاحب ذلك . وسوف يضاف إلى ما ينبعث من ثانى أوكسيد الكربون من هذا المصدر ، ما قد ينبعث من كل من ثانى أوكسيد الكربون والميثان من تحلل المواد التى توجد حاليا متجمدة فى مستنقعات خطوط العرض المرتفعة ، وفى رواسب الخث(*) .

ولكن أكثر الأسباب التى تدفعنا إلى غض الطرف عن الرهان على قيام الطبيعة بطريقة ما بتنظيف الغلاف الجوى لنا ، هو أننا مازلنا مستمرين فى تسجيل زيادات ثابتة ومطردة فى تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء عاما بعد آخر . ومرة أخرى لابد لنا من أن نتذكر أن إطلاق ثانى أوكسيد الكربون ، وبعض الغازات الأخرى ، فى الهواء بواسطة الإنسان ، قد تزايد بشكل أكبر مما تستطيع الأرض أن تزيله فورا .

وقد قدمت فكرة جديدة فى السنوات الأخيرة ، أقنعت بعض الناس بأنه قد يمكن التحكم ذاتيا فى تسخين المناخ . وتعرف هذه الفكرة « بفرض جايا » . وهى تنص على أنه فى خلال المسار الطويل للتطور ، استحدثت النباتات والحيوانات ، ليس فقط قدرة على التعايش

(*) **الخث** : نسيج نباتى نصف متفحم ويتحلل فى الماء ، وقد يعرف باسم فحم المستنقعات . (المعرّب)

مع ما يحيط بها ، ولكن أيضا قدرة على التحكم فى كل ما يحيط بها لتحسين فرص حياتها . وهكذا تمضى الفكرة فتقول إنه إذا بدأت الأرض فى الاحترار ، فإن الكائنات الحية سوف تعدل من لون السطح ، ومن تركيب الغلاف الجوى ، وبعض الخصائص الأخرى للكرة الأرضية ، لكى تعيد درجة الحرارة إلى وضعها المثالى . وقد أثار « فرض جايا » اهتماما وجدلا علميا كبيرا ، ولكنه لن يساعدنا كثيرا فيما يتعلق بمشكلة تسخين المناخ . ففى خلال العصر الطباشيرى ، عندما كانت الديناصورات تتجول على الأرض ، كانت الأرض أكثر سخونة مما هى عليه الآن ، وفى أثناء قمة العصر الجليدى الأخير كانت أكثر برودة . وإذا كان « فرض جايا » يتحكم فى درجة الحرارة ، فهو يفعل ذلك بطريقة فضفاضة جدا ، بما يسمح بحدوث تغيرات يمكن أن تدمر الحضارات الحديثة ، إذا حدثت هذه التغيرات بسرعة أكبر مما يلزم .[٤٤]

وأخيرا حاول بعض الناس أن يجدوا أملا فى النتائج الإيجابية لتغير المناخ المتنبأ به . وتخيل بعض الكتاب غير العلميين أن الفصول التى تزداد طولا ودرجات الحرارة الأكثر دفئا سوف تسرع بنمو الأشجار في المناطق الشمالية الغربية ، وفى سيبيريا وفى المناطق الباردة الأخرى ، ونسوا أن النباتات قد تأقلمت مع الظروف التى تنمو فيها ، وأن فصلا دافئا أطول ، قد يكون مدمرا مثل الفصل القصير . ويعرب كثيرون من الناس عن الأمل فى أن تجلب الإزاحة فى سقوط الأمطار التى ستصاحب تغير المناخ ، ماء أكثر إلى المناطق الجافة ، خاصة فى دول العالم الثالث ، وبذلك تخفف من المشكلات القائمة هناك . ويجب النظر إلى هذه الأفكار العاطفية باحتراس ، لأن الأنظمة السياسية والاجتماعية فى هذه البلاد ، والتفاعل بين اقتصاداتها والاقتصاد

العالمى ، خلق موقفا يصعب معه التأقلم مع المناخ الحالى . ومثال ذلك أن سكان المدن يطلبون أسعارا أقل للطعام بأكثر مما يتحمله المزارعون ، وتحاول أعداد أكثر ثم أكثر من الناس أن تعيش فى مساحات لا يتوقع أنها تعول مثل هذه الأعداد بصورة معقولة . وتعليق أمل الإنسان على التغيرات فى نمط سقوط الأمطار قد يكون أحد الطرق لتجنب المشكلات العميقة للزيادة المفرطة فى أعداد السكان ، وسوء توزيع الثروة ، والاستعمال السيىء للقدرة التجارية ، وعدم الاستقرار السياسى .

ومن الطبيعى أن تكون الزراعة فى العالم الصناعى أكثر مرونة من مثيلتها فى الدول الأقل تطورا ، ومن الممكن أن يكون المزارعون الناجحون قادرين على الاستفادة من التغيرات . وسوف تحتاج بعض النباتات لماء أقل مما تحتاجه الآن بسبب المستوى الأعلى لثانى أوكسيد الكربون فى الهواء . ويحدث هذا التغير لأن النبات الذى يتوافر له قدر من ثانى أوكسيد الكربون أكثر مما يحتاج ، سوف يقلل من حجم أو عدد الفتحات الصغيرة فى أوراقه التى يأخذ ثانى أوكسيد الكربون عن طريقها . ونتيجة لذلك فإن فقد الماء خلال نفس هذه الفتحات سينخفض كذلك . ومما سيعادل هذه الميزة جزئيا ، حقيقة أن بعض الأعشاب تستطيع أن تستعمل ثانى أوكسيد الكربون بكفاءة أكبر من بعض المحاصيل ، وسيؤدى رد فعل الأنواع الحية المختلفة فى الغابات غير المعتنى بها ، وفى المراعى ، إزاء زيادة ثانى أوكسيد الكربون ، إلى تغير اتزان الأنواع الحية بطريقة لا يمكن التنبؤ بها حاليا .

ويمثل رد فعل النباتات للظروف المتغيرة إحدى السمات متزايدة الأهمية للمشكلات التى احتار فيها الإنسان . وتتصدر الزراعة الحديثة عقودا من النجاح التكنولوجى . ووفرت البحوث الزراعية حلولا لكثير

من المشاكل التى نواجهها فى توفير الغذاء والألياف لأعداد السكان المتزايدة . وقد أدى انتقاء وتهجين سلالات المحاصيل ، واستعمال الأسمدة مع استخدام الكيماويات لمنع نمو الحشائش وقتل الحشرات ، ومكافحة الطفيليات والأمراض ، إلى قيام ثورة خضراء ، وتزايد ثقة خبراء الزراعة فى أنه لا توجد عقبة لا يمكن التغلب عليها . وهكذا حتى وقت قريب ، كانت التنبؤات بأن انتقال أنواع حية غير مرغوب فيها سوف يقابل باستخدام مبيدات للأعشاب أو مواد غذائية معينة لاستعادة الاتزان . ولكن أغلب التركيز فى التسعينيات سيتحول إلى وضع تصور لكيفية الإقلال من استخدام الكيماويات فى الزراعة . وقد حققت الكيماويات نتائج جيدة فى الحقول المنزرعة ، ولكنها مثل الد . د . ت ، فى الستينيات والسبعينيات ، تراكمت فى الأشجار وفى القنوات المائية ، مما أثار المتاعب . وقد بدأت الإدارات التى تضع التنظيمات فى اقتراح حدود « للتلوث غير المحدد المصدر » (وهذا يعنى التلوث الذى يأتى من مناطق عريضة بدلا من أنبوبة صرف مفردة فى مصنع كيميائى ، أو فى معمل تكرير للنفط) . وحتى فى استخداماتها الأولية ، كانت هذه الكيماويات أبعد ما تكون عن المثالية ، ففى أول الأمر قتلت مبيدات الآفات ، الحشرات أو الأعشاب ، ولكنها ولدت فى النهاية سلالات أكثر مقاومة ، مما تطلب دورة أخرى من البحوث الكيميائية وتطوير المنتجات والاختبارات .

وقد تصاعد السعى إلى نماذج المناخ الأكثر دقة ، والأكثر اكتمالا ، فى السنوات الأخيرة مع زيادة أعداد صانعى السياسة المتشككين الذين أجبروا على التفكير فى ما إذا كان الأمر يتطلب عملا ما . وتم جذب أعداد متزايدة من العلماء إلى البحوث الخاصة بإيجاد أفضل الطرق التقنية للمحاكاة ، وتحسين مجموعات البيانات الواردة من المناطق وعلى مستوى الكرة الأرضية لاختبارات النماذج ، وإيجاد أكثر المناهج تقدما

لتقدير تأثير تغيرات المناخ على أنشطة البشر . وهذه البحوث سوف تستمر ولكننا يمكن أن نقيم التقدم الحالى فيما يلى :

- صحة الفكرة الأساسية لأرهينيوس ، وقدرتها على مقاومة كل هجوم .
- واقعية المحاكاة الناتجة من النماذج أدت إلى زيادة ثقة المجتمع العلمى فيها .
- كثرة الآثار الناتجة من تسخين كبير ، سوف تكون ضارة للناس وللأنظمة الايكولوجية الطبيعية .

وختاما ، تتنبأ أفضل الجهود لعلماء العالم بحدوث تسخين سريع للمناخ . وقد فشلت حتى الآن جميع البحوث النشيطة التى تبحث عن أسباب تدعو إلى عدم الاهتمام بهذا التغيير .

الفصل السادس

مشكلة واحدة فحسب

لا تقتصر مشكلات الأمطار الحمضية ، واستنفاد الأوزون ، وتسخين المناخ ـ وهى الأوجه الثلاثة الأكثر شهرة من أوجه التركيب سريع التغير للغلاف الجوى ـ على أن تكون مجرد مشكلات مترابطة بعضها ببعض . ذلك أن هناك مشكلة واحدة أكبر تكمن وراءها جميعا . فكل هذه المشكلات الثلاث ما هى إلا نتيجة لتأثير أنشطة البشر على الأرض ، الذى يتساوى الآن مع ، بل حتى يفوق ، تأثير القوى الطبيعية ذات الحجم الكبير . وفى حين كانت الظواهر الطبيعية مثل البراكين والعواصف ، والجفاف ، والرياح الثلجية تقهر البشر من قبل ، إلا أنهم اليوم يهيمنون على بيئتهم الفيزيائية والبيولوجية . وتزيد نسبة ثانى أوكسيد الكبريت المنتج بواسطة الإنسان ، والتى تنتشر فى هواء نصف الكرة الشمالى ، عدة مرات على تلك التى تنتجها الحياة النباتية والبراكين . كما فاق تأثيرها على التربة والنباتات والأسماك ، قدرة العمليات بطيئة التطور ، على التنظيف ، وهى العمليات التى حافظت على المحيط الحيوى خلال أزمنة ما قبل التصنيع . وقد بدأت الزيادات في تركيز المواد المخلقة فى الاستراتوسفير ، فى تدمير طبقة الأوزون . ويحتوى الجزء الأسفل من الغلاف الجوى الآن على كميات من غازات تحتبس الأشعة تحت الحمراء ، تكفى لإثارة الاضطراب فى الاتزان طويل الأمد بين كسب سطح الأرض للحرارة وفقده لها .

وهذا القول يثير دهشة بعض العلماء ، ويزعج بعض القادة السياسيين ولكنه لا يترك أثرا واضحا فى أغلب الناس . وأغلب الناس يقولون : بالطبع إننا نسيطر على ما يحيط بنا ، ما الذى يثير الدهشة أو الانزعاج فى هذا ؟ فنحن نحتفظ بدرجة الحرارة معتدلة ببناء المنازل وبالآلات ، ونجعل السفر ممكنا بواسطة الطرق والمطارات ، ونقلل من الفيضانات بالسدود والحواجز ، ونقضى على الحشرات الضارة أو المزعجة بواسطة الكيماويات ، ونحول الأرض ، ونغير مجرى الماء لإنتاج ما نحتاجه من غذاء . وسيقولون إن هذه السيطرة مخططة ومرغوب فيها ، ثم يضيفون بعد ذلك : « هل كنت تريدها خلاف ذلك ؟ » . وسأحاول فى هذا الفصل أن أجيب عن هذا السؤال الأساسى .

لقد ظل الناس يعدلون ما يحيط بهم ، وينتجون النفايات لمدة طويلة ، منذ أن كان هناك ناس . ويصدق الأمر نفسه بالنسبة للأنواع الحية الأخرى : فالأشجار تسقط الأوراق ، والثعالب تحفر الجحور ، والقنادس تقطع الأشجار ، والطحالب تحول البحيرات إلى مستنقعات . وتصورنا المعتاد للأرض فى عصر ما قبل الصناعة والزراعة ، هو أنها كانت أرضا تتنافس فيها أنواع حية كثيرة على المكان والموارد ، وكانت نفايات أحد الأنواع يستعملها نوع آخر ، وكانت أعداد كل نوع تظل محددة بفعل الأمراض والحوادث ، والحيوانات المفترسة ، وبصفة رئيسية الإمداد المحدود من الطعام . والمرجح أن هذا الترتيب كان بعيدا عن أن يكون ترتيبا ثابتا . ذلك أن قرنا دافئا ، أو عقدا باردا ، كان يمكنه أن يغير الاتزان بين الأنواع الحية ، وأن عاصفة أو حريقا فى غابة ناتجا عن البرق ، كان يمكنهما تعديل طبيعة إحدى الغابات ، وأن ظهور جسر برى بين الجزر أو القارات بسبب انخفاض مستوى البحر ، كان يمكن أن يؤدى إلى ظهور أنواع حية جديدة فى مساحة ما ، ويسبب اضطرابا للأنظمة الايكولوجية بالنسبة لكل الأزمنة التالية . ولكن فى خلال هذه

التغيرات المتنوعة ، لم يسد نوع واحد من الأنواع فى كل مكان ، أو لمدة طويلة ، لأن التنافس كان على أشده .

ومنذ وقت حديث نسبيا ، استطاع البشر أن يتخلصوا من بعض المعوقات التى كانت تقيد الأنواع الأخرى ، وأن يتقدموا إلى أول الصفوف . فقد تعلمنا أن نزرع المحاصيل ، وأن نرويها ونسمدها ونحميها من الآفات حتى يمكن زيادة كمية الغذاء الناتج من كل رقعة . ونظمنا أنفسنا ، وأخذنا بالتخصص فى مهاراتنا كى ننتج ما نحتاجه بطريقة أكثر كفاءة . وخلال القرون القليلة الماضية ، تعلمنا أن نستعمل الوقود الأحفورى لتطوير تكنولوجيتنا وجعلها أكثر تقدما . وما زالت مهاراتنا فى إنتاج ما نحتاجه ، وأعدادنا كذلك ، تزداد بمعدل يأخذ بالأنفاس ، وزادت معها أنواع وأحجام التعديلات التى تمت فى البيئة المحيطة بنا ، بالإضافة إلى زيادة حجم تلال النفايات وعددها .

ومع ذلك فهناك مفارقة فى هذا الموقف . نعم ، لقد حررنا أنفسنا من المعوقات التى قيدت الأنواع الأخرى ، ولكننا ما زلنا ، معتمدين كثيرا على الأنواع الأخرى ، وعلى الأنظمة الايكولوجية القديمة ، فيما يحقق صحتنا وتقدمنا . فالنباتات والحيوانات التى نأكلها ، نشأت معنا أو قبلنا ، وبالرغم من أنها مختارة ومطعمة ومستولدة ومهجنة ، فما زالت تحمل المعلومات الوراثية التى اكتسبتها فى أثناء عملية التجربة والخطأ الخاصة . والوقود الأحفورى الذى يدفع حضارة العالم تكون (بطرق لا نفهمها جيدا) من بقايا النباتات والحيوانات التى تمت معالجتها تحت سطح الأرض . ومنازلنا ، لا نزال نصنع أغلبها من الخشب أو من الحجر والرمل ، ونلصقهما معا بالحجر الجيرى المسخن ـ وهو حجر الجير الذى ترسب فى البحار القديمة عندما تجمعت أصداف الكائنات الصغيرة قطعة فوق قطعة . ويحيط بنا جميعا الغلاف الجوى الذى نعتمد

عليه فى كل دقيقة فى حياتنا ، وهو الذى تكون فى المقام الأول من الازدهار الأول للحياة على سطح الأرض ، ويتجدد يوميا بأعداد تعدّ بالتريليونات من الأنواع الحية التى تحصى بالملايين ، والتى مازال علينا أن ندرس حياة أغلبها حتى الآن .

وإلقاء نظرات سريعة على هذه المفارقة ، يزعجنا من حين لآخر . فمخزون وقودنا الأحفورى على وشك الانتهاء ، فماذا بعد ؟ ومكتبة المعلومات الخاصة بمورثات النباتات يجرى إحراقها بواسطة الغزاة ، فهل سندخل فى عصر مظلم للطعام والدواء ؟ والغلاف الجوى خرج عن النظام ، والنفايات التى ينتجها نوع حى واحد تفوق قدرة كل الأنواع الأخرى على التنظيف ، فإلى أين سيقودنا كل ذلك ؟

وبصفة عامة ، لا ينفق الناس وقتا كبيرا فى طرح هذه الأسئلة ، فنحن لا ننزعج كثيرا من التغيرات التى تحدث فى العالم الذى نعيش فيه ، ويبدو أن السبب فى ذلك أننا افترضنا بهدوء ، أن المستقبل سيعتنى بكل شىء . وإذا كان الهولنديون قد استطاعوا أن يستصلحوا قطعة من قاع البحر ليحولوها إلى أرض زراعية ، وإذا كان الطب الحديث قد استطاع أن يقضى على مرض الجدرى من الأرض ، وهو مرض خطير ، وإذا كانت المضادات الحيوية قد استطاعت أن تسيطر على أمراض أخرى ، وإذا كانت مياه الفيضان يمكن الاحتفاظ بها فى خزانات ، فلا شك أن لدينا من المهارات ما يكفى للتعامل مع كل شىء .

وقد عبرت عن ميلنا لتحرير أنفسنا من العالم كما وجدناه ، مقالة عن الغلاف الجوى ظهرت منذ أكثر من خمسين سنة مضت فى إحدى جرائد بوسطن ، جاء فيها :

« سيصبح التنبؤ بالجو أمرا غير هام فى المستقبل بشكل

متزايد . وبالطبع ، ستظل لدى الكثيرين من الناس الرغبة فى معرفة ما إذا كانوا يأخذون معهم مظلة أو أحذية من المطاط عند مغادرتهم للمنزل فى الصباح أم لا ، ولكن بتقدم الزمن ، لن يكون هناك فرق كبير إذا أخذوها أو نسوها .

ومنذ خمسين عاما مضت كانت هناك أراض كثيرة فى المناطق الاستوائية مخصصة لزراعة نبات النيلة . وكانت محاصيلها غالبا ما يصيبها الضرر الشديد نتيجة الجفاف . ومن الواضح أنه كان سيساعد زارعى نبات النيلة ، لو أنهم كانوا قد استطاعوا التنبؤ بحالات الجفاف قبل وقوعها بزمن كاف . ولكن هذا التنبؤ طويل المدى سيكون اليوم قليل القيمة لأن كل صبغة النيلة تقريبا ، تصنع الآن من قطران الفحم فى المصانع .

وعلى هذا فإنه بعد مائة سنة من الآن ، قد يصبح للتنبؤ بموجة حرارية ، قيمة أكاديمية فقط بالنسبة لأغلب الناس . فعلى الأغلب ، سنقوم بالعمل فى مكاتب ومصانع مكيفة الهواء ، وننام فى منازل نختار فيها أفضل درجات الحرارة ، ونسافر فى قطارات وسيارات وطائرات معزولة كلها عن الجو الخارجى . وعندئذ لن يهتم بقراءة تقارير الجو سوى المزارعين ، ومن لا دواء لهم من أصدقائنا فى خارج المنازل ، وبعض العاطفيين المتمسكين بمبادئهم » . (٤٥)

وقد يصحب وجهة النظر هذه ، فى بعض الأحيان ، افتراض أنه من واجبنا ، وليس من قدرنا فقط ، أن ندبر كل شىء . ومنذ ثلاثين عاما مضت ، قام سناتور من الولايات المتحدة بتقريع المدير التنفيذى « لنادى سييرا » ، الذى جاء إلى واشنطن العاصمة ، لتقديم شهادته للاعتراض على بناء خزان معين فى غرب البلاد ، قائلا « أريد أن أذكرك أن الله

لم يخلق الأرض فقط ، ولكنه خلقها للإنسان ، وكانت من أولى الوصايا التى أعطاها له ... أن يتكاثر ، ويعمر الأرض ويسيطر عليها » . (٤٦)

ولا يتطلب الأمر سوى إلقاء نظرة عابرة على المجلات والجرائد اليومية ، لكى يدرك المرء أن وجهة النظر ما زالت قائمة : ربما تكون قد صبغت بطابع عصرى ، أو أصبحت أكثر نعومة وعلمانية ، ولكنها لم تتغير . وفى كتاب نشر باعتباره هجوما على برنامج تليفزيونى علمى خاص ، نقرأ ما يلى : « إذا تعلمنا أن نفهم نظام المناخ بصورة جيدة على نحو كاف ، فسندرك أن حساسيته المفرطة قد تصبح نعمة لنا . وعندئذ قد يصبح فى استطاعتنا أن نجرى تحسينات اختيارية فى المناخ أو نوقف تدهوره ... وقد يأتى وقت يحرك فيه الجنس البشرى المناخ ، بدلا من أن يحرك المناخ الجنس البشرى » .(٤٧) وقد سمعت تعليقات أخرى من هذا القبيل فى اجتماعات حديثة تتعلق بتسخين المناخ ، والسمات الأخرى للتغيير السريع على مستوى الكرة الأرضية . فقد رفض أحد الاقتصاديين الذين شاركوا فى مناقشة حول تأثير تغير المناخ ، المشكلة بنفاد صبر ، مشيرا إلى أن العلماء سيستطيعون بالتأكيد ، أن يتوصلوا لطريقة تجعل الهواء أقل شفافية تجاه ضوء الشمس الوارد ، وبهذا يحدث توازن مع الزيادة فى احتباس الأشعة تحت الحمراء . وقد تردد صدى هذا الاقتراح فى اجتماع آخر على لسان أحد المشاركين فيه ، عندما سأل عن إمكانية قيام العلماء بالترتيب لتفجير قنبلة نووية مرة كل شهر ، لخلق ما يكفى فقط من « الشتاء النووى » لموازنة « صيف الصوبة » .

وأغلبنا مثل هؤلاء الكتاب والمتحدثين ، متفائلون تكنولوجيا . فلو اختفى الوقود الأحفورى ، فسيحل محله بالتأكيد اندماج نووى ، أو مرايا شمسية عملاقة فى الفضاء ، أو أى شىء آخر لم نفكر فيه بعد ، حتى يمكننا الاستمرار فى تلبية احتياجاتنا . وقد نستطيع أن نطلق النفايات

النووية فى الفضاء ، أو ندفنها فى خنادق خاصة فى أعماق المحيط . ومع اختفاء الأنظمة الايكولوجية ، نستطيع أن نستبدلها بالمحاصيل التى نريدها ، أو بحدائق نموذجية جميلة ، أو بأحزمة خضراء ، وربما احتجنا إلى مكانها على أية حال ، لاستيعاب أعداد السكان المتزايدة . وإذا زادت حرارة المناخ ، وارتفع مستوى سطح البحر ، نستطيع أن ننقل المحاصيل إلى مواقع جديدة ، والأفضل من ذلك أن نصمم محاصيل جديدة تنتج الغذاء أينما كان الاحتياج إليه ، ربما فى الصوبات أو فى بيئات أكبر وأكثر تنظيما ، وخضوعا للتحكم فيها ، فى الفضاء وعلى القمر والمريخ . وبالإضافة إلى ذلك ، يمكننا أن نبنى جدرانا للبحار ، لإتاحة الوقت اللازم لمدننا لكى تهاجر إلى داخل البلاد ، وربما نصمم مدنا تحت الماء ، لا يتغير المناخ فيها أبدا ، وتحل فيها مشكلات كثيرة بيسر أكثر .

ربما سنكون على صواب . وربما نقف الآن على أعتاب الفصل التالى فى ملحمة سيطرة البشر على الكون ـ وهو الفصل الذى نحرر فيه أنفسنا من الاعتماد على الأنظمة القديمة التى نشأت فى المحيط الحيوى للأرض ، وفى الغلاف الجوى ، وفى المحيط ، وعلى السطح . وهى فكرة مراوغة . وقائمة النجاحات التكنولوجية الحديثة مثيرة للإعجاب ، فلم نقم فقط بحل المشكلات واختراع الأشياء ، بل ندرس كذلك كيف تحل المشكلات ، وبذلك نعجل بالدورة التالية للتقدم . واستعدادنا لتحرير أنفسنا من قيود الأرض الباقية ، لا يمكن أن يتجسد بأوضح مما يتبدى فى تطورين حدثا فى أواخر القرن العشرين : سفن الفضاء التى سمحت لنا بأن نغادر الكوكب ، والمعامل التى نستطيع أن نبنى فيها أنواعا حية جديدة من تصميمات الأنواع القديمة . ومع وجود هذه الطرق التقنية فى متناول أيدينا ، إلا أنه من الصعب أن نجد جرأة كافية لتخيل المستقبل المحتمل . هل سنستطيع أن نطور أشجارا

أو نباتات أخرى تقاوم تلوث الهواء ، كى تحل محل مثيلاتها التى تذبل الآن ؟ أو لماذا نقلق ما دام من المحتمل أن نتمكن من وضع أنواع جديدة من النباتات على المريخ ، لتبدأ فى تكوين غلاف جوى نافع ، ومحتبس للحرارة ، على هذا الكوكب العارى ، وأن نوفر لأنفسنا عالما بديلا ؟ هل نستطيع تغيير البشر فى المستقبل بحيث يستطيعون العمل والعيش فى طائفة واسعة من البيئات ؟

وحتى على مستوى التكنولوجيات المألوفة بدرجة أكبر ، فإن المستقبل يبدو مشرقا . وليس من المبالغة أن نتصور (مثلما فعل كاتب مقالة بوسطن منذ خمسين عاما مضت) الصحراوات « التى لم تكن لها فائدة » من قبل ، وقد تغطت بمنازل وأماكن عمل ومجمعات ترفيهية ذات مناخ خاضع للتحكم فيه ، وتدار بنوع ما من الطاقة الشمسية ، وتقدم فيها الأخبار والترفيه وفرص الوصول لقاعدة البيانات ، وطلب المشتريات بالبريد الالكترونى من خلال الأجيال التالية لأجهزة التليفزيون ، ويمكن الوصول إليها بسفن هوائية فى الجزء الأسفل لمدار الأرض أو سفن فضاء تسير بسرعات عالية .

وقائمة الإمكانات هذه التى أصبحت مألوفة الآن ، ستتوافر بشرط واحد هو : أن هذه الأشياء ستغدو ممكنة فقط إذا استطعنا تدبر أمرنا بحيث لا ننسف أنفسنا قبل أن نبدأ . ولكن الشواهد تتجمع على أن هناك شرطا آخر يجب إضافته إلى الشرط الأول . فلكى نستمر فى السير بنجاح على امتداد المسار الحالى ، فإننا لا نحتاج إلى استبدال الأنظمة الناشئة التى نعتمد عليها فقط ، بل نحتاج أيضا للتحلى بالحكمة الكافية للقيام بذلك فى تسلسل سليم وبصورة كاملة ، حتى لا نجد أنفسنا فى أى وقت من الأوقات خلال العملية وقد تركنا دون طعام نأكله ، أو هواء نستنشقه ، أو حكومة قوية تحفظ السلام . وهذا الشرط مطلوب لأن

سيطرة مجتمعاتنا التكنولوجية المتوسعة ، المتزايدة على الأنظمة الطبيعية تعنى كذلك ، أنه بالإضافة إلى تحرير أنفسنا من الاعتماد على هذه الأنظمة ، نتسبب كذلك فى إختفائها التدريجى . وسوف نحتاج إلى أن نستبدل « بالحكمة » المتراكمة للعلاقات المتبادلة بين الهواء والأرض والماء ، والأنواع ، ذكاءنا ومثابرتنا ، ومهاراتنا الإدارية .

وهناك كثير من أوجه عدم اليقين فى هذا المسار . أولها أن ذلك التقدم التكنولوجى لا يسير دائما بيسر كما نود . ومثال ذلك ، أن آمالنا خلال الثلاثين عاما الماضية ، بأن الطاقة النووية ، وهى « أرخص من أن تقاس للمحاسبة عليها » ، سوف تغطى كل احتياجاتنا من الطاقة ، قد حل محلها الخوف من إنتاجها ، ومن تكلفتها ، ومن التلوث الناتج عنها ، ومن الصراعات الدولية . كذلك تقدمت خلايا الكهرباء الضوئية ، ببطء أكبر من المأمول فيه ، ورغم أنها تعمل إلا أنها ما زالت أكثر تكلفة من أن تسهم كثيرا فى الشبكة الدولية الحالية لتوليد الكهرباء وتوزيعها . والبطاريات المناسبة للاستعمال فى السيارات الكهربائية ، مثلها فى ذلك مثل الاندماج النووى ، ما زالت فى بداية الطريق . ولا يقتصر عدم اليقين على مجال الطاقة . فالاستعمال المتكرر لمبيدات الآفات ، يخلق آفات جديدة ، والأسمدة تزيد من الحاجة إلى الأسمدة . وهذه الأمور تمثل تأخيرا أو فشلا تكنولوجيا واضحا . وهى لا تؤدى إلى حدوث ضرر كبير ما دام الوقت يتوافر لدينا لتجربة شىء آخر ، ولكنها تحذرنا من التشبث بالاعتقاد البسيط بأننا نستطيع دائما أن نتوصل للتكنولوجيا الصحيحة الجديدة تماما فى الوقت الذى نحتاجها فيه .

وتتضمن مجموعة كبيرة من حالات الفشل ، بعض المبتكرات التكنولوجية التى عجزت عن حل المشكلات التى صممت من أجل حلها . فمنذ عدة سنوات مضت أظهرت دراسة تقليدية عن كفاءة

مشروعات السيطرة على الفيضان فى حوض أحد الأنهار الكبيرة ، أن الهياكل التى أقيمت ، زادت من الضرر الكلى الناشيء عن الفيضانات بدلا من أن تقلله . إذ قام الناس ، وقد تشجعوا بأعمال السيطرة على الفيضان ، ببناء المزيد والمزيد من المبانى فى سهل الفيضان . ولذلك فعندما حدث الفيضان الذى كان قد أصبح حينذاك أكثر ندرة ، كان الضرر أشد .[٤٨] وقد أظهرت بعض الدراسات الأحدث عن الثورة الخضراء ، أن هناك سلسلة متصلة من الأحداث ترتبت عليها . فقد تطلبت زراعة المحاصيل ذات التكنولوجيا العالية ، تجميع المزارع الصغيرة فى ملكيات أكبر ، واستبدال الآلات بالعمل اليدوى . وأدى هذا إلى إنتاج أكبر للمحاصيل ، ولكنه أدى أيضا إلى جوع أكبر ، لأن المزارعين الصغار وجدوا أنفسهم قد تحولوا إلى عمال يوميين ، أو هاجروا إلى المدن الكبيرة دون دخل كاف لشراء المحاصيل السحرية التى أنتجت بهذا الأسلوب . وهذا المثال الزراعى له نظير على النطاق العالمى . فعاما بعد عام ، تنجح مهاراتنا التكنولوجية فى المتوسط فى إنتاج المزيد والمزيد من الطعام والألياف من كل كيلومتر مربع من الأرض الزراعية ، حتى أصبحت كمية البروتينات والسعرات المنتجة على مستوى العالم حاليا تكفى الاحتياجات الغذائية الدنيا ، لكل فرد على الأرض . ومع ذلك ، فسنة بعد أخرى ، تتزايد أعداد الجوعى أكثر ثم أكثر .[٤٩] وتدل حالات الفشل هذه على أن قدرتنا على خلق المؤسسات الاجتماعية الضرورية للاستخدام السليم لتكنولوجيتنا ، تتأخر كثيرا خلف قدرتنا الناقصة على ابتكار تكنولوجيا جديدة فى المقام الأول .

والنوع الثالث من الفشل التكنولوجى توضحه مشكلات الغلاف الجوى الثلاث المنوه عنها فى هذا الكتاب ، فقدرتنا على توقع التأثيرات الجانبية الضارة وغير المقصودة للتكنولوجيا الجديدة ، محدودة للغاية .

وينشأ هذا القصور بعدة طرق . فربما لم يكن أول من أطلقوا كميات صغيرة من CFC في الهواء ، قد سمعوا حتى عن الاستراتوسفير أو عن كيمياء طبقة الأوزون ، وربما أوضحت اختباراتهم أن هذه المادة خاملة « لكل المقاصد والأغراض » ، وأن الكميات الصغيرة المنطلقة منها سوف يخففها الغلاف الجوى المتسع للكرة الأرضية ، لدرجة تقلل حتى الضرر غير المتوقع إلى مستويات تجعله منعدماً أو غير محسوس . ولكن بمجرد أن يثبت أن المادة مفيدة ، كما حدث فى حالة الفحم أو مركبات CFC ، تزيد الكميات التى نطلقها إلى ألف أو مليون مثل ، وتسمح لنا المنافع التى نجنيها من المادة بتحمل أولى علامات الضرر أو تجاهلها . وبهذا فإننا نخلق لأنفسنا مشكلات خطيرة عندما تزداد الكميات المنطلقة أكثر من ذلك .

وحدوث مثل هذه الحالات من الفشل ، يعتبر سببا كافيا للتساؤل عما إذا كنا مستعدين للبدء على مستوى الكرة الأرضية ، فى إدارة التربة ، والهواء ، والمحيطات ، وتلك الأنواع التى نقرر بقاءها . وبالنسبة لمن لا يستطيعون حتى الآن أن يصفوا على نحو كامل الطريقة التى تعمل بها شجرة ما ، أو كيمياء محيط ما ، أو أن يضعوا الطعام المتاح فى أيدى من يحتاجون إليه ، سيصبح من الخطورة بمكان أن يضطلعوا بتصميم وصيانة نظام متكامل لمساندة الحياة لكل الأفراد .

والاعتماد الكامل على مهاراتنا التكنولوجية والإدارية فى حل مشكلات المستقبل ، يمثل صعوبة أخرى . ونظرا لأن الحلول تتضمن تكنولوجيات معقدة متزايدة ، وتكاليف أعلى فأعلى ، فإن عددا أكبر من سكان العالم سوف يتخلفون عن الركب .

مثال ذلك ، أنه مع ارتفاع مستوى سطح البحر ، فإن بلدانا متنوعة سوف تتأثر . أما الأراضى العالية عن مستوى سطح البحر ، والتى

تتكون فيها خطوط الشواطىء من جروف منحدرة ، فسوف تتأثر إلى حد يدعو فقط إلى تعديل بعض المنشآت مثل الموانىء . ومن ناحية أخرى ، فإن هولندا ستجد أنه من الضرورى أن تزيد من ارتفاع سدودها بما يتناسب مع ارتفاع مستوى سطح البحر ، إذا أرادت أن تحتفظ بنفس القدر من الحماية ضد المدّ الناتج من العواصف الذى يتوافر لها الآن . ولكن ماذا ستفعل بنجلاديش ؟ إن أى أطلس سيرينا مدى قرب غالبية هذا البلد من مستوى سطح البحر ، وأى مجلد جغرافى سيصف الأعداد الكبيرة من الناس الذين يسكنون ويزرعون أرضا ليست أعلى كثيرا من مستوى سطح البحر اليوم ، وتورد الصحف تقارير عن الخسارة الكبيرة فى الأرواح عندما تغرق الأعاصير الأراضى المنخفضة . ولا تستطيع بنجلاديش ، التى تقل مواردها كثيرا جدا عن موارد هولندا ، أن تتحمل تكاليف الشبكة الواسعة من الهياكل المطلوبة للحد من الضرر الذى قد تسببه الأمواج التى تدفعها العواصف فى بحر مستواه أعلى من المتوسط .

والمزارعون فى دول العالم الثالث لديهم بصفة عامة ، اختيارات للتغير والتأقلم ، أقل مما لدى نظرائهم فى الدول المتقدمة النمو . ومع ذلك فإن التغيرات فى درجات الحرارة ، والزيادة أو النقص فى سقوط الأمطار ، والتغيرات فى أسعار السوق العالمية ستؤثر عليهم كلها كما تؤثر على المزارعين فى البلاد الأكثر ازدهارا . وبصفة عامة ، فإن دول العالم الثالث ستجد صعوبة فى التأقلم مع التغير السريع أكثر مما يجده العالم المتقدم النمو ، حتى على الرغم من أن تغير المناخ ناتج فى معظمه من الغازات التى تطلقها الدول الصناعية فى الغلاف الجوى . وهكذا فإن التغيرات السريعة فى الغلاف الجوى قد تفاقمت من جراء عدم المساواة بين الدول الغنية والفقيرة ، وتخلق توترات جديدة بين سكان العالم . وفى اجتماع عقد أخيرا فى الهند ، لمناقشة تأثير تغير

المناخ على الدول النامية ، فاجأ مندوب من بنجلاديش الحاضرين بقوله إنه يفترض أن الدول الغنية التى تقوم الآن بإغراق الهواء بالغازات المحتبسة للحرارة ، ستبدى رغبة فى قبول حشود اللاجئين التى ستنجم عن تعرض بلاده للغرق التدريجى .

وطريق التطور الذى نسلكه ، طريق خطير ، فهو يتطلب معرفة ومهارات قد لا تتوافر لدينا ، ويؤدى إلى نتائج قد نجد أنه من الصعب تحملها . وعلى مستوى أكثر أهمية ، علينا أن نتساءل عما إذا كان الافتراض القائل بأننا نستطيع أن ندير الأرض وكل ما عليها من حياة ، سيقودنا إلى نوع العالم الذى نرغب فى أن نعيش فيه . فالأرض المحصنة بسدود ضد ارتفاع مستوى سطح البحر ، مع غلاف جوى معتم لتقليل ضوء الشمس عند السطح ، لن تلقى قبولا لدى أغلب الناس . بالطبع إن الشباب الذين سيولدون فى عالم مثل هذا ، لن يشعروا بخيبة الأمل فى هذه الشمس الأكثر ظلاما ، كما أنهم لن يفتقدوا الأنواع الحية المنقرضة . وربما كانت المأساة الحقيقية لتلوث الهواء ، لا تكمن فى أنه سوف يقتلنا ، بل فى أنه لن يفعل ذلك : فسوف نتأقلم مع التغيرات وننسى كل الإمكانات التى اختفت مع الدنيا السابقة . (٥٠)

الفصـــل الســابع

المسـار الآخــر

هناك مسار بديل للتطور ، وهو مسار صعب عندما نفكر فيه ، وأكثر صعوبة من عدة نواح ، من مسار التوسع السريع المستمر ، ولكنه يستحق النظر فيه . ويقتضى هذا المسار أن نقلل من تأثيرنا على الغلاف الجوى بما يكفى لإبطاء التغيرات ، ويتيح للناس وقتا للتأقلم فى المسار المعتاد لأنشطتهم . ومع زيادة التدرج فى التغيير وإنقاص الآثار ، يمكننا أن نستمر فى الاعتماد على الأنظمة التى تطورت ببطء للهواء والماء والكائنات الحية ، والتى شكلت البيئة التى تطورت فيها الحضارة البشرية ، وما زالت تدعم الحياة بطرق مدهشة ومتشابكة .

والمشكلة بالطبع هى كيف ننجز هذا التغير فى الاتجاه ، وما هى الخطوات التى يجب أن نتخذها لتقليل تأثير البشر على الأرض ؟ وبعض أجزاء الإجابة عن ذلك معروفة ، وبعضها الآخر سوف يحتاج إلى جهد كبير وإلى تخيل ـ وحتى النهج الأكثر تدرجا سيتطلب درجة من التفاؤل التكنولوجى الخاصة به . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن المهمة كبيرة إلى درجة لا يمكن أن نأمل معها فى وجود إجابة واحدة بسيطة . فلن يظهر لنا فجأة مصدر جديد للطاقة يدير كل شىء : فاستعمال الوقود الأحفورى لم يبطىء تأثير البشر ، ولا استعمال الطاقة النووية فعل ذلك ، ولن يفعله المصدر الجديد التالى . وتقليل تأثير البشر يشمل جميع أوجه

حضارتنا : عدد سكان الأرض ، وما يفعله كل منهم ، وكيف يقوم به . والاستراتيجية التى تتوافر لها فرصة للنجاح ، يجب أن تدعو إلى تثبيت ، وربما حتى تقليل ، عدد سكان العالم ، وإعادة تنظيم الأنشطة الاقتصادية ، بحيث ينتج كل فرد كمية أقل من النفايات ، ويكون له تأثير أقل على الأرض وأنظمتها . ولكى تنجح مثل هذه الاستراتيجية ، فإنها يجب أن تشجع أيضا حياة الفرص والتنوع والتحدى .

إن الغلاف الجوى وتفاعله مع الناس والأجزاء الأخرى من المحيط الحيوى ، هو محور اهتمام هذا الكتاب . ولهذا فإن الوصفة المذكورة هنا للعثور على مسار يقل فيه تأثير البشر ، سوف تتركز حول تثبيت تركيب الغلاف الجوى . ولكن كل خطوة تقريبا يمكن تصورها لتقليل التغيرات التى يسببها البشر فى الغلاف الجوى ، تتضمن أوجها من الصناعة والمجتمع ليس لها علاقة مباشرة بالهواء . فعلى سبيل المثال ، فإن بعضا من ثانى أوكسيد الكربون ينطلق فى الغلاف الجوى عند إزالة الغابات لتوفير الأراضى لزراعة المحاصيل أو المراعى ، أساسا فى البلدان الاستوائية . وأى تخفيض فى هذه الانبعاثات سوف يتطلب التصدى لقضايا الفقر ، واستصلاح الأراضى ، وضغط السكان ، وديون العالم الثالث . وفى الحقيقة ، لو كان محور تركيز هذا الكتاب قد انصب على بعض المشكلات العالمية ، خلاف التغيرات التى تحدث فى الغلاف الجوى ـ مثل الفقد الدائم فى الأنواع الحية فى المنطقة الاستوائية ، وعدم الاستقرار السياسى فى الشرق الأوسط وفى إفريقيا ، وفى أماكن أخرى ، أو خطر انسكاب النفط على الشواطىء ـ فإن التوصيات كانت ستتضمن شبها شديدا بتلك الخاصة بتثبيت تركيب الغلاف الجوى . فالحل المتعلق بأى مشكلة رئيسية فى الكرة الأرضية يقطع شوطا كبيرا فى اتجاه حل كل المشاكل الأخرى .

وتنبع مشاكلنا من الزيادة العالمية فى تركيزات ثانى أوكسيد الكربون ، ومركبات الكلوروفلوروكربون ، والميثان ، وأوكسيد النيتروز ، وقائمة طويلة من مواد أخرى ، أغلبها كيماويات صناعية ، فى الغلاف الجوى ، ومن زيادات محلية فى تركيزات ثانى أوكسيد الكبريت ، وأكاسيد النيتروجين ، والأوزون (فى الغلاف الجوى السفلى) ، والهيدروكربونات ، وبعض المواد الأخرى . وكثير من هذه المواد ـ وأكثرها أهمية ـ يتصل بإنتاج الوقود الأحفورى واستعماله . ويترتب على ذلك أنه يجب أن تتمثل الخطوة الأولى لإيجاد مسار أكثر تدرجا ، فى خفض استهلاكنا للوقود الأحفورى .

والنهج المباشر لاستخدام كميات أقل من الوقود الأحفورى ، لا يلقى قبولا . فالإقلال من السفر ، والاحتفاظ بالمنازل وأماكن العمل فى درجة حرارة أبرد فى الشتاء ، أو فى درجة حرارة أعلى فى الصيف ، وخفض إضاءة الشوارع ، كل هذا سوف يوفر فى الوقود الأحفورى ، ولكنه سيخلق أيضا مشكلات أخرى ، أو على الأقل سيلقى مقاومة عامة كبيرة . وفى العالم الثالث ، حيث يعتصر النقص فى مصادر الطاقة ، الحياة بصورة تدعو للأسف ، ومن ثم تضيق فرص العمل ، فإن مثل هذه الخطوات سوف تتعارض بصورة مباشرة مع أهداف التنمية . ولذلك ، فإن الأمر يقتضى دراسة اختيارين آخرين لاستعمال كميات أقل من الوقود الأحفورى : وهما استبدال مصادر أخرى للطاقة بالوقود الأحفورى ، أو استعمال الوقود الأحفورى بكفاءة أكبر . ومن الواضح أن استبدال مصادر أخرى بالوقود الأحفورى ، هو مطلب طويل الأجل . وحتى دون حدوث تأثيرات على الغلاف الجوى ، فإننا سنستنفد يوما ما كل المتاح حاليا من البترول والغاز والفحم الجاهز . ولكن بالنسبة للأغراض العاجلة ، فإن إجراء تحسينات فى كفاءة الطاقة أمر

حيوى . ومن حسن الحظ أن الجزء الذى نفهمه جيدا من الاستراتيجية الكاملة ، يعالج هذا المجال بالتحديد .

وتختلط أحيانا كفاءة الطاقة مع صون الطاقة ، التى كان لها سمعة سيئة فى منتصف السبعينيات عندما ربط ممثلو المصالح النفطية بينها وبين « التجمد فى الظلام » . والإمكانيات الحقيقية لتحسين كفاءة الطاقة ، أكبر بكثير من الوفر الذى يتحقق ببساطة بخفض الثرموستات ، أو عدم ترك الأنوار مضاءة دون الحاجة إليها . وإذا كان الضوء الذى نحتاجه يوفره مصباح قوته ١٠٠ واط ، وأتيح لنا ضوء مساو له يصدر من مصباح قوته ٢٠ واط ، فإن التحول إلى المصابيح المنخفضة الواط سوف يوفر ٨٠ واط عند الإضاءة ، دون أى فقد فى شدتها بالنسبة للمستهلك . وبالمثل فإن تسخين منزل ما بفرن يعمل بالغاز الطبيعى يستخلص ٩٠ فى المائة من حرارة الوقود سيكون مرضيا تماما ، ويتطلب وقودا أحفوريا أقل من تسخين المنزل نفسه بفرن يستخلص (كما هو معتاد اليوم) جزءا أصغر بكثير من الطاقة المتاحة . وإذا اتيحت مثل هذه التكنولوجيات عالية الكفاءة للجميع ، وكانت تكلفة إحلالها معقولة ، فإن الوفر فى الطاقة ، خاصة فى الوقود الأحفورى ، سيكون جزءا عمليا من مسار الحضارة البشرية الذى تترتب عليه آثار منخفضة .

وقد بينت عدة دراسات حديثة ، أن هذه التكنولوجيات موجودة فعلا . فبالنسبة للولايات المتحدة ، يمكن من الناحية التكنولوجية تحقيق هدف الاحتفاظ بالمستويات الحالية للنشاط باستخدام كميات من الوقود الأحفورى تصل إلى نحو نصف الكميات الحالية . [٥١] ويضاف إلى ذلك أن الوفر فى تكاليف الوقود الناتج عن استخدام هذه التكنولوجيات الخاصة بكفاءة الطاقة ، يزيد على تكلفة التجهيزات الجديدة المطلوبة .

وهكذا تتوافر لنا الفرصة لإبطاء تزايد الأمطار الحمضية ، وتدمير الغابات ، وتسخين المناخ ، مع إنفاق أقل على التسخين والتبريد ، والتصنيع والتجهيز ، والطهى والترحال ، والإضاءة فى داخل البيوت وخارجها . وقد اتفق أن هذه الخطوات ستقلل الضباب الدخانى فى المدن ، وتخفض لأدنى حد من التأثيرات الناتجة من تعدين الفحم ، وتقلل من عدد مرات انسكاب النفط ، وتحسن القدرة على المنافسة الصناعية ، وتخفض الانفاق الوطنى لاستيراد الطاقة ، وتقلل الجدل حول أماكن إقامة محطات القوى التالية . وإذا كان الأمر كذلك ، فإن الاحتمالات قد تبدو أفضل مما هى عليه فى الحقيقة . وفى حقيقة الأمر ، فإن اليابان ودول أوربا الغربية تقوم حاليا بصنع سلع باستعمال نصف الطاقة فقط التى تحتاجها الولايات المتحدة لصنع نفس هذه السلع ، مع الاحتفاظ بمستوى معيشة عال . وقد قامت الولايات المتحدة ببداية متواضعة فى اتجاه زيادة الكفاءة ، ولمدة عقد بعد حظر البترول فى عام ١٩٧٣ ، هبط استهلاك البترول بانتظام بالنسبة لكل فرد من الأمريكيين ، وزاد الناتج الوطنى الإجمالى بمقدار الثلث تقريبا ، وزاد تعداد السكان بنحو ٢٠ مليون نسمة خلال نفس الفترة . وأتاحت التحسينات فى كفاءة الطاقة لهذا النمو أن يأخذ مجراه دون أى زيادة فى الطاقة الكلية المستعملة .

ولكن تثبيت استعمال الوقود الأحفورى وحده ، كما فعلت الولايات المتحدة ، خلال تلك السنوات ، لا يعد كافيا لتثبيت ثانى أوكسيد كربون الغلاف الجوى . ففى كل عام جديد تتسبب الأنشطة البشرية فى زيادة كمية ثانى أوكسيد الكربون فى الهواء بنحو ٣ مليارات طن من الكربون ، ومع ثبات استعمال الوقود الأحفورى ، فإننا نتوقع استمرار حدوث زيادات مماثلة . ولكى يتم تثبيت تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ، فإن علينا أن نذهب إلى ما هو أكثر من تثبيت استعمال

الطاقة ، وأن نجرى تغييرات تؤدى إلى خفض كمية الوقود الأحفورى الذى نستخدمه كل عام بطريقة ملموسة . ولا نعرف بالضبط مقدار التخفيض فى الانبعاثات الذى نحتاجه ، ولكن تقديرا تقريبيا مرتكنا إلى فكرة أن المحيطات ، فى استجابتها للتركيز العالى الحالى لثانى أوكسيد الكربون فى الهواء سوف تستمر فى امتصاص وتخزين عدة مليارات من الأطنان ، أكثر مما فعلت فى الأزمنة قبل الصناعية ، يوشى بأننا يجب أن نهدف إلى تقليل الانبعاثات بمقدار النصف أو حتى أكثر من ذلك . وقد تؤدى الدراسات التالية إلى جعل هذا التقدير أكثر دقة فى السنوات القادمة ، ولكن لا يهم كثيرا ما إذا كان الأمر يقتضى خفض انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون إلى ٣٠ فى المائة أو إلى ٥٠ فى المائة من قيمتها الحالية ، لأن العمل المبدئى المطلوب ، هو نفسه فى الحالتين .

والفحم هو الوقود الذى يسبب أكبر قلق . فتعدينه يطلق الميثان ، ونقله يحتاج إلى طاقة ، واستعماله ينتج ثانى أوكسيد الكربون وثانى أوكسيد الكبريت ، وأكاسيد النيتروجين . والفحم كوقود أحفورى يؤدى استعماله إلى إنتاج ضعف كمية ثانى أوكسيد الكربون التى ينتجها الغاز الطبيعى بالنسبة لإنتاج نفس القدر من الطاقة . ولأن أغلب فحمنا يستعمل فى توليد الكهرباء ، فإن المعدات الكهربائية الكفء ، لها الأولوية القصوى فى تخفيض الانبعاثات الضارة بالغلاف الجوى .

وتمس الاجراءات التى يجب أن نتخذها دائرة واسعة من الأنشطة البشرية : مثل رفع مستويات العزل للمنازل والمكاتب ، واستبدال مضخات الحرارة ، أو أفران الغاز الطبيعى بالتسخين بالمقاومة الكهربائية ، واستبدال أجهزة أخرى جديدة وعالية الكفاءة بأجهزة تكييف الهواء القديمة والمعدات الأخرى فى المنازل ، والمحركات الكهربائية

القديمة فى المصانع ، واستبدال مصادر أكثر كفاءة بمصابيح الضوء المعتادة . ويمكن لكل من هذه الخطوات أن تخفض احتياجنا للكهرباء ، وبالتالى للفحم ، بكميات محسوسة . ولنأخذ حالة الثلاجات المنزلية ، ففى الولايات المتحدة يستهلك التبريد نحو ربع الاستخدام السكنى للكهرباء . ويؤدى إحلال الثلاجات الجديدة الأكثر كفاءة الموجودة حاليا فى السوق محل الثلاجات المنزلية العادية ، إلى توفير من نصف إلى ثلثى الطاقة المستخدمة ، مع حفظ نفس الكمية من الطعام ، وتسترد تكلفة الاستثمار الزائد عن طريق وفورات الطاقة خلال بضع سنوات ، وإذا ما استعملت على مستوى البلاد ، فإنها سوف تلغى الحاجة إلى عشر محطات أو أكثر من محطات القوى الكبيرة التى تدار بالفحم . والتكنولوجيا المطلوبة لكل هذه التغييرات موجودة فعلا ، وطرق الإسراع بمعدل الاستبدال معروفة جيدا : مثل الإعلان عن الوفر الذى ستتيحه المعدات عالية الكفاءة ، وإصدار الحكومة لقيم قياسية للكفاءة ، وفرض ضريبة على المعدات غير الكفء ، أو على الفحم ، ومطالبة الحكومة بضرب المثل فى عملياتها وتعاقداتها .

ولا تخلو هذه التغييرات الجديدة من المشكلات . ويتمثل أحد الاعتراضات القوية التى تقال ضد الطاقة الكهربائية عالية الكفاءة كجزء من علاج الأمطار الحمضية ، وتسخين المناخ ، فى أنها سوف تقصى عمال مناجم الفحم عن العمل ، وهى ستفعل ذلك فعلا . فتلك هى طبيعة مجتمعنا ، الذى يحدث فيه تغير سريع فى التكنولوجيا ، وتحل فيه سلعة محل أخرى فى أوقات متقاربة . ورد الفعل إزاء هذا الوجه من حياتنا التى تعتمد على التكنولوجيات العالية ، لا يمكن أن يتمثل فى ضمان نفس الوظيفة لكل فرد مدى الحياة ، وإنما فى توفير النظام الاجتماعى الذى ييسر للأفراد الانتقال من عمل لآخر ، وييسر للمجتمعات الانتقال من نشاط لآخر . وأكثر من ذلك ، فإن مثل هذه الانتقالات سوف تكون أيسر

فى اقتصاد منتج ونشيط ، وسوف تزيل على المدى الطويل ، الفاقد ، وتخفض الأضرار البيئية ، وسوف تسهم بالتأكيد فى جعل اقتصادنا أكثر قوة . ولكن نظامنا السياسى لا يتبنى دائما النظرة البعيدة ، ولهذا فإن قضية وظائف عمال الفحم ما زالت مسيطرة على الجدل حول الأمطار الحمضية ، وغالبا ما يكون ممثلو صناعة الفحم هم الذين يجادلون بأن تسخين المناخ هو « مجرد نظرية » .

وقد تم تقدير وقع الخطوات المقترحة لخفض استعمال الطاقة ، على قضية التوظف فى عدة دراسات ، تميل إلى إثبات أن إجراءات رفع الكفاءة ستخلق عددا من الوظائف مثل التى ستلغيها . (٥٢) ولكن واضعى هذه الدراسات يحذرون من أن تقديراتهم غير مؤكدة بسبب الآثار الكثيرة غير المباشرة لأى تغيير كبير فى السياسة القومية على سوق التوظف .

والبترول أكثر ملاءمة من الفحم فى كثير من الاستعمالات ، فهو أسهل فى التحويل إلى أشكال متنوعة ، فهو قد يأخذ شكل سائل أو غاز ، وبذلك يسهل نقله خلال خطوط الأنابيب ، أو حمله على هيئة وقود فى المركبات . وفيما عدا أوربا الشرقية ، يستعمل العالم الصناعى طاقة مستمدة من البترول أكثر مما يستمدها من المصادر المعتمدة على الفحم ، وتبين دراسة استعمال البترول ، تماما كما فى حالة الفحم ، أن هناك فرصا كبيرة لتوفير الطاقة . ونظرا لأن ثلث كل الطاقة المستخدمة فى الولايات المتحدة يستعمل فى تحريك أنواع متنوعة من المركبات ، فإن كفاءة طاقة تشغيل المركبات الأكثر انتشارا ، وهى السيارة ، لها أهمية حاسمة .

وتقطع السيارة المتوسطة على الطريق نحو ١٩ ميلا لكل جالون فى

الولايات المتحدة ، و٢٤ ميلا لكل جالون فى بقية العالم . وتوجد حاليا فى السوق سيارات موفرة للوقود ، تقطع نحو ٥٠ ميلا لكل جالون ، وهناك نماذج جديدة تم اختبارها تقطع نحو ١٠٠ ميل لكل جالون على وجه التقريب . وبالرغم من ذلك ، فإن توافر هذه السيارات المحسنة لا يضمن أن العالم سيستخدم قريبا وقودا أحفوريا أقل . ويدرك صانعو السيارات أن المستهلكين لا يبحثون أولا عن الاقتصاد فى الوقود عند شرائهم سيارة جديدة ، ولكن هناك أمورا أخرى لها الأسبقية ، مثل السرعة ، والاتساع ، والأمان ، والشكل العام . وعلى الرغم من أن السيارة عالية الكفاءة سوف توفر المال للمشترى ، فهى تفعل ذلك فقط إذا أدخلت فى الاعتبار التكاليف المنخفضة للوقود خلال عمر السيارة . وكثير من المشترين يرغبون فى سيارة رخيصة الثمن أكثر مما يرغبون فى سيارة تكاليف تشغيلها منخفضة ، ولهذا السبب فإن السيارات عالية الكفاءة لن تستحوز أوتوماتيكيا على نسبة كبيرة من مبيعات السوق ، ولابد من ضغط إضافى فى هذا الاتجاه . وقد قدمت اقتراحات عديدة بشأن أى التوليفات من الكفاءة ، ودعم الطاقة ، والحوافز الضريبية ، والعقوبات التى تهدف إلى تحسين الكفاءة ، والعلاقات العامة يمكن تطبيقها سياسيا ، وتكون فى الوقت نفسه أكثر كفاءة فى وضع المنتجات عالية الكفاءة فى أيدى المستهلكين ، وبذلك يمكن خفض استعمال الوقود الأحفورى .

ولكن ، مثلما يرى عمال المناجم وأصحابها أن الأمطار الحمضية ليست خطيرة ، وأن تسخين المناخ هو ضرب من الخيال العلمى ، فإن شركات السيارات فى أمريكا تحاجّ أحيانا ، بأن السيارة الخفيفة ذات الكفاءة ، أكثر خطورة على الطريق من سياراتهم الأكبر والأثقل . ولا تؤيد تقارير الأمان الخاصة بالسيارات الخفيفة ذات التصميم الجيد هذا الرأى ، ولكن مجرد طرح هذه المقولة يعكس بعض المعوقات

السياسية التى تقف فى سبيل التحسين السريع للكفاءة .

ويمكن للغاز الطبيعى أن يلعب دورا غير عادى فى الجهد الذى يبذل لتقليل انبعاثات غاز ثانى أوكسيد الكربون ، وذلك بزيادة استعماله . فلو قررت البلدان مثلا ، أن أيسر طريقة للقيام بالتخفيض المطلوب فى انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون هى فرض ضريبة على انبعاثات الكربون ، فإن الغاز الطبيعى سيصبح محل تفضيل ، لأنه يعطى طاقة أكبر من الفحم أو منتجات البترول ، مقابل نفس الكمية من الكربون . ولكن مكامن الغاز الطبيعى التى تقع بعيدا عن المناطق الحضرية قد تكون أقل نفعا ـ لأن تكلفة خطوط الأنابيب التى ستحمل الغاز إلى المستهلك ستكون جدّ عالية ـ وقد يتم إحراقه كناتج عديم القيمة . وتقوم بعض المناطق التى تعانى من مشكلات حادة فى نوعية الهواء ، بتجارب على الميثانول كبديل للبنزين فى السيارات . ويمكن تخليق الميثانول من الغاز الطبيعى بإقامة مصانع تجهيز بجوار مكامن الغاز ، ثم شحنه على هيئة سائل إلى المستهلكين ، ويحل بذلك محل البنزين ، ويقلل من انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون .

وفى اتجاهنا لزيادة استعمال الغاز ، يجب على القائمين على صناعته وتحويله ونقله ، والهيئات الحكومية ، أن يتقدموا بحذر لضمان ألاّ يؤدى الاعتماد الكبير على الميثان ، إلى تسرب متزايد له إلى الهواء ، لأن كفاءة جزيئات الميثان على احتباس الأشعة تحت الحمراء ، تزيد بنحو عشرين أو ثلاثين مرة على كفاءة جزيئات ثانى أوكسيد الكربون فى هذا ، ولذلك فإن تسرب الميثان إلى الهواء ، يمكن أن يلغى مزاياه فى تقليل انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون . وللميثان كذلك تأثيرات ثانوية تسهم فى مشكلات الغلاف الجوى . فهو يعزز التفاعلات التى تكوّن الأوزون ، وهو غاز آخر محتبس للأشعة تحت الحمراء ، فى الجزء

الأسفل من الغلاف الجوى ، وهو يتحول فى الاستراتوسفير إلى بخار الماء ، وبذلك يسرع من التغيرات التى تحدث فى أعالى الغلاف الجوى .

وقد ركزنا فى هذه المناقشة التى تدور حول الكفاءة حتى الآن على العالم الصناعى . فالولايات المتحدة ، والاتحاد السوفيتى ، وأوربا الغربية ، تنفث أكثر من نصف الكمية الكلية لثانى أوكسيد الكربون الناتج من الوقود الأحفورى ، الموجود الآن فى الغلاف الجوى . ولكن الخبراء الذين يدرسون إمكانيات الوفر فى الوقود ، يدعون أن هناك فرصا لإجراء تحسينات كبيرة فى كل مكان فى العالم ، حتى فى البلاد النامية ، باستعمال وقود أقل بالنسبة لكل فرد . وهذه الادعاءات تكون محل جدل أحيانا ، لأنه يبدو بداهة ، أن الدول الغنية هى الدول الأكثر تبديدا ، وأن البحث عن تحسينات للكفاءة يجب أن يبدأ هناك . ومع ذلك فقد أيدت لجنة تابعة للجنة الأمم المتحدة للبيئة فى تقرير لها أن :

» هذه الادعاءات (الخاصة بإمكان تحقيق وفر فى الطاقة) كثيرا ما ترفضها الدول النامية والفقراء عامة ، باعتبار أنها تهم الأغنياء والمترفين فقط . وليس هناك ما يسىء إلى عرض الحقيقة بصورة محزنة أكثر من هذا . فأكثر الناس فقرا هم فى أغلب الأحيان المدانون باستعمال الطاقة والموارد الأخرى بطريقة أقل كفاءة ، وأقل إنتاجية ، وهم أقل من يستطيعون تحمل تكاليف ذلك .

فالمرأة التى تطهو طعامها فى إناء من الفخار على نار مكشوفة ، ربما تستخدم من الوقود ما يزيد ثمانى مرات على ما يستخدمه جارها الثرى الذى يستعمل فرنا غازيا وأوانى من الألومنيوم . والفقراء الذين يضيئون منازلهم بفتيل مغموس فى

إناء من الكيروسين ، يحصلون على جزء من مائة جزء من الإضاءة التى يصدرها مصباح قوته مائة واط ، ويستهلك نفس القدر من الطاقة » .[٥٣]

وتشير اللجنة إلى عدة طرق تستطيع بها الدول النامية خفض استهلاك الوقود « دون خسارة فى الرفاهية أو الإنتاج » . ويضيف التقرير : « ولكن الفوائد التى تتحقق عن هذا الطريق ، فى دولة فقيرة ، ستعنى أكثر من ذلك » . وتصور دراسة أحدث ، فى مركز الطاقة والدراسات البيئية بجامعة برينستون ، رغم أنها لا تشمل الوقود الأحفورى ، هذه النقطة بصورة مثيرة . فكثير من بلدان العالم الثالث تزرع قصب السكر ، وتحرق مخلفاته كوقود فى مصانع السكر . وعندما تفعل ذلك ، فإنها تنتج نحو عشرين كيلوواط ساعة من الكهرباء من كل طن من المخلفات ، أو نحو ما يكفى لتشغيل المصنع . ولو أن هذه المخلفات تحولت إلى غاز ، ثم أحرقت فى توربينات مثل المحركات النفاثة ، لأمكنها أن تنتج ٤٦٠ كيلوواط ساعة لكل طن ، ولاستطاع المصنع أن يصدر الكهرباء . وزراعة قصب السكر واسعة النطاق ، ويمكن لهذه التكنولوجيا أن تنتج نحو ربع الكهرباء المستخدمة الآن فى السبعين دولة نامية المنتجة لقصب السكر ، مما يسمح بتوسيع خدمات الطاقة بها بنسبة ٢٥ فى المائة دون استغلال مزيد من الوقود الأحفورى .[٥٤]

ويصور هذا المثال القضايا التى يجب مواجهتها إذا أردنا أن تتم تنمية العالم الثالث المطلوبة دون أن نضيف إلى تغير الغلاف الجوى . وقد تطورت هذه التوربينات فى الولايات المتحدة ، نتيجة لتقدم الولايات المتحدة فى تكنولوجيا المحركات النفاثة ، الذى حركته بدوره الاستثمارات الكبيرة التى تمت لكى تحتفظ هذه الأمة بالصدارة فى كل

من تكنولوجيا الطائرات المدنية والعسكرية . ويزداد الآن استعمال هذه التوربينات التى تعمل بوقود الغاز الطبيعى ، مما أثبت كفاءة الوقود الناتج من تحويل الفحم إلى غاز . والرأى السائد هو أن الجهد الإضافى المطلوب ، فى هذه المرحلة ، لتوضيح أهمية التوربينات التى تعمل بالبيوماس المحول إلى غاز ،مثل مخلفات قصب السكر ، ما زال جهدا متواضعا . والتكاليف معقولة : فإن تكلفة الكيلووات من القدرة بالنسبة لتوربينات الغاز الطبيعى المستعملة بالفعل حاليا ، تبلغ نحو نصف تكلفة الكيلووات الناتج من المحطات الجديدة التى تدار بالفحم . وسوف تنافس تكلفة المحطات التى تعمل بالفحم المحول إلى غاز ، تكلفة المحطات التى تدار حاليا بإحراق الفحم . وقد تكون المحطات التى تدار بالبيوماس أرخص من مثيلاتها التى تدار بالفحم ، فهى لن تحتاج إلى مصارعة الكبريت الذى يسبب متاعب فى تصميم أنظمة الفحم المحول إلى غاز .

فما هو أفضل اتجاه للعمل ؟ هل نطور محطات البيوماس على أمل أن تقوم الدول النامية الفقيرة بصفة عامة بشراء تكنولوجياتها ؟ أم نقتسم معلوماتنا وتصميماتنا الحالية مع الدول المتخلفة تكنولوجيا على أمل أنها سوف تواصل تطوير واستعمال هذه التكنولوجيا الكفء ؟ أم نجعل محطات القوى هذه جزءا من مساعداتنا الخارجية ؟ ربما يتطلب الأمر توليفة من هذه الاستراتيجيات ليتصدى كل منها للمشكلات والإمكانيات الخاصة بالدول المعنية . وعلى أقل تقدير ، فإن الأمر سيقتضى تقديم المساعدات الفنية ونقل الموارد من العالم الصناعى ، إذا أردنا أن تشارك الدول النامية فى الحركة الدولية نحو استخدام أكثر كفاءة للطاقة .

وهناك تحرك نشيط على المستوى الدولى ، فقد استضافت الحكومة الكندية فى تورنتو عام ١٩٨٨ ، اجتماعا للخبراء من كل أنحاء العالم لمناقشة « الغلاف الجوى المتغير » . وركز البيان الصادر عن هذا

المؤتمر على أهمية خفض انبعاثات الغازات فى إبطاء معدل تغير المناخ حتى يستطيع العالم أن يتأقلم بيسر أكبر مع هذه التغيرات التى تجرى حاليا بالفعل . وأوصى تقرير المؤتمر بتخفيض قدره ٢٠ فى المائة من انبعاثات غاز ثانى أوكسيد الكربون ، على مستوى الكرة الأرضية ، بحلول عام ٢٠٠٥ . وقد بينت الدراسات التى تركزت حول هذا الهدف ، أن التكنولوجيا التى سوف تجعل هذا التخفيض ممكنا متاحة فعلا ، وأن الوفر فى الموارد سيكون كبيرا . وبالمقارنة بتكاليف بناء محطات قوى جديدة ، ودفع ثمن الوقود فى سيناريو « المضى فى العمل كالمعتاد » ، فإن تحقيق هدف تورنتو سيجعل دول منظمة التعاون والتنمية فى الميدان الاقتصادى توفر سنويا ٣٥ مليار دولار فى القطاع الصناعى ، و٢٠ مليار دولار فى قطاع النقل ، وما يقرب من ٥٠ مليار دولار فى المبانى بحلول عام ٢٠٠٠ .[٥٥] وكان من رأى أعضاء مؤتمر تورنتو أنه يمكن تحقيق نصف هدف التخفيض بإجراء تحسينات فى الكفاءة ، ويتحقق النصف الآخر باستبدال مصادر غير أحفورية بالوقود الأحفورى . وتبين أولى الدلائل أن تحسينات مطردة فى الكفاءة بنحو ٣ فى المائة كل عام ، يمكن أن تؤدى إلى نفس الهدف دون الحاجة إلى البحث عن مصادر جديدة للطاقة .

ومع ذلك فسوف تكون هناك حاجة إلى مصادر جديدة للطاقة ـ لأن تحسينات الكفاءة ستكفينا فقط فى هذه المرحلة . وهكذا فإن الاستراتيجية العالمية لتخفيض ثانى أوكسيد الكربون ، تقتضى كذلك بذل جهود مقدامة لإيجاد مصادر بديلة للطاقة تكون غير مكلفة ومقبولة ولا تحتوى على الكربون ، وتسمح باستمرار تخفيض انبعاث الغازات بعد أن تكون تحسينات الكفاءة ، المستصوبة اقتصاديا ، قد استغلت تماما .

وتشمل المصادر المرشحة للطاقة الجديدة طائفة متنوعة من

التكنولوجيات القائمة مثل الخلايا الكهروضوئية الشمسية ، التى لم تدخل بعد فى مجال الإنتاج على مستوى كبير رغم الانخفاض السريع فى أسعارها ، ولهذا فهى حتى الآن لا تنافس الكهرباء المولدة بإحراق الفحم ؛ وطاقة حرارة الشمس ، التى تقوم الآن بغزو سوق الطاقة فى المواقع الصحراوية ذات الجو الصحو ؛ وأيضا الطاقة النووية ، التى تعمل حاليا ، ولكن لا يزال عليها أن تقنع الجمهور بأنها آمنة ، كما أن تكاليفها تتصاعد لأن مشكلة التخلص من نفاياتها وإبطال مفعولها أصبحت أشد وضوحا ؛ والطاقة الناتجة من الفرق فى درجة الحرارة فى الأرض أو فى المحيط ، المستعملة حاليا فى بعض الأماكن الخاصة على الأرض ، ولكن لم تتضح صلاحيتها بعد للاستخدام العام . وتتضمن المصادر المرشحة الأقل احتمالا ، الاندماج النووى الذى يبدو دوما أن استعماله عمليا ، سيتحقق بعد عدة عقود فى المستقبل .

ويمكننا أن نستفيد فى بحثنا هذا عن مصادر للطاقة فى المستقبل ، من خبرة الماضى . وعلينا ألا نتعجل ونضيق دائرة اختيارنا كما فعلنا مع الطاقة النووية ، بل ينبغى لنا أن نفكر فى تبنى تشكيلة متنوعة من النهج . وعلينا أن نفكر مليّا فى الآثار الجانبية المحتملة غير المرغوب فيها لكل مصدر ، وأن نختار مصادر تنتج أقل كمية من النفايات التى لا يمكن إعادة استخدامها . ويجب أن تصحب هذه الجهود خطوات فعالة لتثبيت عدد سكان الأرض حتى لا تُلغى التحسينات فى كفاءة الطاقة بالزيادة المطردة فى أعدادنا .

الغابات

يأتى ربع ثانى أوكسيد الكربون الذى يدخل إلى الهواء اليوم من مصادر حيوية ، أساسا من إزالة الغابات . والإبطاء من تحويل الغابات إلى حقول ، والحد من قطع الأخشاب إلى مستوى تستطيع معه الغابة

أن تجدد نفسها ، يمكن أن يقلل من هذا المصدر لثانى أوكسيد الكربون ، ويسهم بقدر كبير فى الاستراتيجية الكلية ذات الأثر المنخفض فى المستقبل . والغابات الاستوائية التى تحتوى على أغلب أخشاب العالم وأنواعه الحية ، هى مصدر القلق الرئيسى .

وقد أثبتت حماية هذه الغابات فى البلاد الاستوائية أنها مثيرة للمتاعب من الناحية السياسية . فعلى مستوى الحكومات المركزية ، يبدو أن استغلال الغابات للتصدير أمر ضرورى فى ضوء ثقل حمل الديون على البلاد . وعلى مستوى الشركات ومنظمى المشروعات ، فإن الأرباح السريعة الناتجة من قطع الأخشاب ذات القيمة ، مغرية . وعلى مستوى الأفراد والأسر ، يمكن النظر إلى الغابة على أنها مصدر لخشب الوقود وبعض الاحتياجات الضرورية الأخرى ، أو أنها تمثل أرضا زراعية محتملة . وهناك عدة مجموعات غير حكومية تعمل جادة فى محاولة لتنبيه سكان القرى إلى المميزات طويلة الأمد للحفاظ على الغابات المجاورة ، ولتعليمهم مبادىء إدارة الغابات والزراعة الحراجية . وقد تحدث هذه الاجراءات فرقا ما ، ولكن كما فى حالة كفاءة الطاقة ، فإن التحسينات فى ممارسات الحراجة المحلية يمكن أن تفقد أثرها ، إذا استمرت أعداد السكان فى الزيادة ، واستطاعت الإجراءات الحكومية أن تعرقل التقدم المحلى .

وفى بعض الدول التى تمتلك احتياطيات كبيرة من الغابات ، تنشأ الإزالة السريعة للغابات من سياسة للحكومة مضادة للانتاج ، ذلك أن الضرائب ، والقروض التى يقصد بها خلق فرص للعمل ، وفتح أراض جديدة للزراعة ، وتقليل ازدحام المدن ، تؤدى عملها فى دعم عمليات الإسراف فى قطع الأخشاب ، وتشجيع التصدير بأسعار مدعومة (مما يضحى بالدخل الوطنى المحتمل) ، وتحويل الغابات إلى مزارع

أو مزارع لتربية الماشية . وللأسف ، لم يكن كثير من هذه السياسات كفئا فى حل المشكلات التى وضعت من أجلها فى المقام الأول . ويمكن أن يحدث فرق كبير فى معدل إزالة الغابات ، عند استبدال هذه البرامج بقواعد وتعليمات مصممة جيدا ، ورسوم وإتاوات ، مع ضمان حد معقول من الرقابة وإعمال هذه التعليمات . ولا تقتصر السياسات الخاطئة على البلدان النامية الاستوائية ؛ فالولايات المتحدة ما زالت مستمرة فى بيع كتل الأخشاب للخارج بأسعار لا تغطى حتى تكلفة إخراجها من الغابة وإعدادها للشحن .(٥٦)

تثبيت أعداد السكان

كل مشكلة نوقشت هنا ، والواقع كل مشكلة عالمية تجابهنا اليوم تقريبا ، يحركها فى المحل الأول ويفاقمها النمو فى أعداد سكان العالم . إذ تضيف دول العالم مجتمعة كل عام عددا من الناس إلى مجموع السكان ، يزيد على ما أضافته فى العام السابق ، والمؤشر الوحيد للتقدم فى تثبيت عدد السكان يتمثل فى حقيقة أن عدد سكان الأرض كان من الممكن أن يزداد بسرعة أكبر ولكنه لم يفعل ذلك . وفى الأعوام الأخيرة ، أضافت الولايات المتحدة ١,٧ مليون فرد إلى سكانها كل سنة ، وأضافت المكسيك مليونين ، وبنجلاديش ٢,٩ مليون ، واندونيسيا ٣ ملايين ، وباكستان ٣,١ مليون ، ونيجيريا ٣,٢ مليون ، والصين ١٥,٢ مليون . وتحدث أعلى نسبة للزيادة فى كينيا التى تضيف ٤,١ فى المائة ، وإن كانت تمثل فقط ٩٥٥٠٠٠ فرد كل عام ؛ ويحدث أعلى نمو مطلق فى الهند التى تضيف ١٦,٣ مليون فرد كل عام ، بمعدل نمو ٢ فى المائة .(٥٧)

وتتشابك قضايا نمو السكان وتأثيره على الغلاف الجوى مع معدلات الاستهلاك . فالمواطن فى الولايات المتحدة يستعمل من الطاقة نحو

عشرة إلى خمس عشرة مرة قدر ما يستعمله المواطن فى الهند أو الصين ، وعلى ذلك فإن تخفيض نمو سكان الولايات المتحدة بمليون نسمة يمكن أن يقلل انبعاث ثانى أوكسيد الكربون بمقدار مساو ، أو حتى أكثر مما يفعله تخفيض نمو سكان الهند أو الصين بمقدار عشرة ملايين . وبالإضافة إلى ذلك ، فإنه لو أن الولايات المتحدة اختارت أن تقلل نمو سكانها بمليون نسمة ، فإن نظامها المتقدم للرعاية الطبية سوف يجعل مثل هذا الهدف ممكن التحقيق ، أكثر من نجاح محاولة دولة كبيرة من دول العالم الثالث لتقليل نمو سكانها بعشرة ملايين . وبينما تكافح الدول النامية لتحقيق مستوى معيشة أعلى ، فإن الزيادات المستمرة فى أعداد سكانها لا تفسد أهداف التنمية فيها فقط ، ولكنها تضمن كذلك استهلاكا أكبر للطاقة بمجرد تحقيق هذه الأهداف . وهكذا فإن كلا من الدول الغنية والفقيرة لديها من الأسباب ما يجعلها تعمل على تثبيت أعداد السكان أو تقليلها .

وتأتى الدروس المستفادة المتعلقة بوضع برامج عملية لتثبيت عدد سكان العالم أو تقليله من الدانمرك وألمانيا والمجر وايطاليا والمملكة المتحدة ، التى وصلت إلى عدد ثابت من السكان ، أو من دول حققت تقدما ملحوظا فى السنوات الأخيرة مثل شيلى والصين وكوبا وسنغافورة وكوريا الجنوبية وتايوان .[٥٨] وتختلف عناصر أى برنامج ناجح باختلاف مستوى ازدهار المجتمع : فكلما كان المجتمع أكثر تقدما ، زادت كفاءة البرامج المباشرة ـ مثل تعليم الجنس ، واستخدام طرق تقنية متنوعة للحد من المواليد ـ فى الإقلال من الخصوبة . والبرامج الناجحة فى دول العالم الثالث يجب أن تتأقلم مع الظروف المحلية ، وتحتاج إلى مجهود أكبر .[٥٩]

واستراتيجية تقليل الخصوبة الخاصة بكينيا ؛ حيث تتجنب النساء فى

المتوسط ثمانية أطفال طوال حياتهن ، ويقلن إنهن يردن المزيد ، لابد وأن تختلف عن تلك المطلوبة فى أجزاء من آسيا ، حيث يمكن القول بأن تفضيل الأبناء الذكور يسهم فى الاحتفاظ بالخصوبة أعلى من المعدل المطلوب لتحقيق نمو مساو للصفر . وتقليل الخصوبة فى كل أنحاء العالم الثالث ، وبالتالى تقليل نمو السكان ، يحتاج إلى جهود فعالة للتنمية الاقتصادية ، وإلى دعم الحكومة ، وإلى برامج نشيطة لتنظيم الأسرة . وتبين الخبرة المكتسبة من الدول الصناعية الآن ، ومن التاريخ الأكثر حداثة للبلدان النامية ، أنه عندما يتقدم البلد اقتصاديا ، تقل الخصوبة فيه . ولكن فى بعض البلدان شديدة الفقر ، يقف نمو السكان السريع عقبة فى وجه التنمية الاقتصادية التى تمثل أملا فى إبطاء النمو السكانى .

ويمكن التغلب على هذا المأزق ، ولو جزئيا على الأقل ، بالفوائد الاقتصادية لتنظيم الأسرة . فتنظيم الأسرة عنصر أساسى فى العناية الصحية بالأمهات والأطفال : فالأطفال الذين تفصل بينهم فترة زمنية أطول ، وكذلك أمهاتهم ، يكونون أكثر صحة وأطول عمرا من الأطفال المتعاقبين وأمهاتهم . وتعتبر الصحة الجيدة حافزا للحد من حجم الأسرة : فالآباء الذين تزداد ثقتهم فى أن أطفالهم سيعيشون ، ينجبون عددا أقل من الأطفال . والأطفال الأقل عددا وأكثر صحة ، سوف يبنون اقتصادا وطنيا أقوى ؛ ويجب أن يدفع هذا المنطق حتى الدول الفقيرة للعمل على إبطاء نمو أعداد السكان .

ويعرّف الخبراء السمات الأساسية للنظام الناجح لتنظيم الأسرة ، بأنه ينبغى له أن يقدم دائرة كاملة من وسائل منع الحمل ، وأن يعمل بطريقة أفضل فى سياق برنامج أوسع من الرعاية الصحية الأولية ، وقبل كل شىء ، يجب أن يتناسب مع الإطار الثقافى للدولة . وتعد مشاركة المرأة المحلية المدربة باعتبارها داعية ومعلمة ، أمرا ضروريا فى بعض

البلدان . والالتزام الرمزى من أعلى مستويات الحكومة فى تنظيم الأسرة ، ليس فقط كإجراء صحى ولكن أيضا كوسيلة لخفض الخصوبة وتثبيت نمو السكان ، له أهمية حاسمة فى تقبل البرنامج وفعاليته . وارتقاء الوضع الاقتصادى والسياسى والتعليمى للمرأة ، أمر حاسم فى التقدم فى مجال تنظيم الأسرة . فارتفاع معدل معرفة القراءة والكتابة ، وزيادة الالتحاق بالمدارس الابتدائية ، والثانوية ، وما بعد الثانوية ، ووجود فرص أكبر للعمل بأجر مدفوع خارج المنزل ـ كل هذا سيوسع من اختيارات المرأة خلاف الزواج المبكر ، وإنجاب الأطفال المبكر والمتكرر . وبالإضافة إلى تحسين حياة المرأة ، فإن مثل هذه المجهودات سوف تقلل كذلك من الخصوبة .

وفى أثناء كتابة هذا المؤلف كانت الاستثمارات السنوية الكلية من جميع المصادر فى برامج السكان فى الدول النامية ، تبلغ ٣,٢ مليار دولار (نصف مليار منها مساهمة من مساعدات خارجية ، وهو رقم يصل إلى نحو ٢ فى المائة من المعونة الخارجية الإجمالية) . وتعزيز هذه البرامج وتوسيعها فى البلدان التى بها أعداد كبيرة من السكان ، ومعدلات نمو عالية ، بهدف تخفيض نموها السكانى بقدر كبير ، يحتاج إلى تخصيص مصادر أكبر لهذه المهام .[٦٠] وتبين عمليات المسح أن ٧٥ فى المائة من النساء المتزوجات فى الدول النامية يردن الحد من عدد المواليد مستقبلا أو المباعدة بينهم . ومن المقدر أن يجعل تخصيص ١٠,٥ مليار دولار سنويا ، وهو مبلغ يصل إلى ثلاثة أمثال ما يصرف اليوم ، خدمات تنظيم الأسرة متاحة لهؤلاء النساء . وتستطيع أغلب الدول الصناعية أن تتحمل تكاليف هذه البرامج المطلوبة فى بلادها ؛ أما فى غير ذلك من الأماكن فالأمر يتطلب زيادة المعونة الخارجية . والخطوة الأولى نحو عدد ثابت للسكان فى الولايات المتحدة ، كما هو

الحال فى بعض الدول النامية ، تتمثل فى التزام أعلى المستويات الحكومية بهذا الهدف .

وبذلك فإن الاستراتيجية العالمية لتقليل تأثير البشر الكلى على الغلاف الجوى ، تذهب إلى أبعد من الاهتمامات المعتادة لعلماء الغلاف الجوى ، أو منظمى نوعية الهواء . وحتى الآن ليس هناك وصف كامل لاستراتيجية كهذه ، ولكنها سوف تتضمن بالتأكيد جميع العناصر التى لمسناها فى هذا الكتاب ، وأكثر منها . إذ ستتضمن تثبيت أعداد السكان حتى تصبح الحلول طويلة المدى ممكنة . وتتضمن كذلك إجراءات عاجلة لتحسين الكفاءة فى توليد الطاقة واستعمالها ، نظرا لأن هذه الإجراءات يمكن تنفيذها بسرعة وتوفر ميزات أخرى للبلدان التى تفعل ذلك . وسوف تتضمن أيضا تطوير مصادر الطاقة فى المستقبل ، وتمكننا من خفض انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون إلى أقل من المعدل الذى تمتصها به المحيطات ، دون أن تضيف مشكلات جديدة للأرض والهواء . وتستطيع البرامج الخاصة بخفض معدل قطع الغابات وبرامج إعادة زراعتها ، أن تلعب دورا هاما فى هذه الاستراتيجية . ويجب بذل عناية كبيرة فى تحليل تأثير الغازات المخلقة الجديدة ، قبل تصنيعها بكميات كبيرة وإطلاقها فى الغلاف الجوى . وإعادة استعمال هذه الغازات ــ وفى الحقيقة إعادة استعمال جزء أكبر بكثير من كل الموارد التى نستعملها ــ سوف تكون عنصرا ضروريا . وإذا ما سلمنا بأنه لابد لنا من الالتزام بمعدل للتغيير فى الغلاف الجوى ، فإن أى استراتيجية للمستقبل يجب أن تتضمن إجراءات مخططة لتحسين قدرتنا على توقع الاتجاه الذى تقودنا إليه هذه التغيرات ، ووضع خطط لمواجهة التحول فى المناخ ، أو للتأقلم معه .

وأى تخفيض فى التأثيرات على النطاق العالمى جدير بالاهتمام ، لأنه

سوف يسمح لنا بوقت أطول قليلا لكى نتأقلم مع التغيرات التى نحدثها . ولكن الهدف الأكثر طموحا ـ وهو تخفيض التأثيرات إلى حد يسمح لأقسام كبيرة من الأنظمة الايكولوجية القائمة بالاستمرار فى وظيفتها دون تدخل الإنسان ـ سوف يحتاج إلى تغيير كبير وسريع . والخطوات التى يلزم البدء بها سوف تكون هى نفسها التى وصفناها من قبل ، ولكن هدف تثبيت تركيب الهواء ، سوف يحتاج إلى تخفيضات كبيرة فى جميع انبعاثات الغازات ، وترك مساحات كبيرة من الغابات والمراعى والأراضى الرطبة والتندرا(*) دون المساس بها أو معالجتها .

وهكذا ، فإن هذا المسار المؤدى إلى التقليل من تأثير الإنسان على الأرض ، يتطلب رؤية ثابتة لهدف طويل الأجل غير محدد المعالم ، وتغيرات أساسية فى الأفعال وفى السلوك ، وقدرا من التعاون الدولى لم يسبق له مثيل . ويقع علينا عبء الاختيار بين مسارنا الحالى ، بما فيه من أخطار ، وبين الاستراتيجية الصعبة المطلوبة لجعل تأثيرات الإنسان فى حالة اتزان مع محيطات الأرض ، والغلاف الجوى ، والأنظمة الايكولوجية . فالتوسع المستمر مع ما يصاحبه من ثقة فى الحلول التكنولوجية ، أصبح من عاداتنا الراسخة ، وأى تغيير سوف يحتاج إلى جهود ضخمة ومستمرة من قادة العالم فى كثير من المجالات ، وإلى استحداث تعريف بديل لما يعنيه أن نكون بشرا على سطح الأرض ، ونشر الإيمان به . ولكن ميزات التغيير كبيرة : فهى تعنى استمرار الأنظمة القائمة للأرض ، وإتاحة وقت كاف للناس للتأقلم بطريقة بناءة مع التغيرات التى لا مفر منها .

وهناك ميزة أخرى يتيحها المسار البطىء ، أفضل مما يتيحها مسارنا الحالى : فهو يترك مجال الاختيار مفتوحا أمامنا ، فإذا كنا على ثقة من

(*) التندرا : سهول جرداء فى المنطقة القطبية الشمالية . (المعرِّب)

أننا نستطيع أن نتولى الأمر كله بحكمة، لبضع سنوات أو قرون قادمة ، فعلينا أن نختار ذلك . ومع ذلك ، فلو قررنا أن نتقدم خلال المسار الأكثر سرعة ، فلن يكون لدينا اختيار آخر سوى أن نستمر فيه . فالأنظمة البيئية ستنتهى ، ومهمة بناء عالم جديد تبقى ملقاة على عاتقنا لفترة غير محددة من الزمن القادم .

ملاحظـــات

الفصل الأول : الغلاف الجوى والناس

١ ـ هذه المناقشة الموجزة لأصل وتطور الغلاف الجوى ، تعتمد كثيرا على ج . س ـ ج . ووكر ، « **تطور الغلاف الجوى** » (نيويورك : ماكميلان ، ١٩٧٧) .

٢ ـ للحصول على تقرير موسع عن التفاعلات بين الهواء والحياة ، انظر ستيفان هـ . شنايدر وراندى لوندر ، « **التطور المشترك للمناخ والحيـاة** » (سان فرانسيسكو : كتب « نادى سييرا » ، ١٩٨٤) .

الفصل الثانى : الأمطار الحمضية

٣ ـ الخريطة المصورة لمجلة **ناشيونال جيوجرافيك** ، المعنونة « صورة الولايات المتحدة » ، وزعت مع عدد يوليو ١٩٧٦ من المجلة .

٤ ـ للاطلاع على تاريخ مصانع صهر دكتاون ـ تل النحاس ، وكذلك التعليق على عدم رضاء الملكة اليزابيث عن إحراق الفحم ، انظر روبرت إ . سوين ، « فحوص الدخان والأبخرة » ، **الكيمياء الصناعية والهندسية** ٤١ (١٩٤٩) : ٢٣٨٤ ـ ٢٣٨٨ .

٥ ـ الملخص المذكور هنا عن التاريخ المبكر لدراسات الأمطار الحمضية يعتمد أساسا على عرض شامل للموضوع : ايليس ب . كولنج « التساقط الحمضى من منظور تاريخى » ، **علم البيئة والتكنولوجيا** ١٦ (١٩٨٢) : ١١٠ أ ـ ١٢٣ أ . هذه المقالة لا تذكر التاريخ فقط ، ولكنها تصف كذلك برنامج الولايات المتحدة للبحوث والرصد الذى يهدف إلى تحسين معرفتنا بهذا الموضوع .

٦ ـ هناك تقرير مشهور عن حوادث الكبريتات المميتة فى مدينة نيويورك كتبه روى بوبكين ، « ضبابان دخانيان قاتلان نسيتهما العناوين الرئيسية للصحف » **مجلة** EPA ١٢ (١٩٨٦) : ٢٧ ـ ٢٩ .

٧ ـ أخذت البيانات الخاصة بانبعاث ثانى أوكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين ، من جدول نشر فى مطبوع معهد الموارد العالمية والمعهد الدولى للبيئة والتنمية ، المعنون : **موارد العالم** ١٩٨٧ (نيويورك : الكتب الأساسية ، ١٩٨٧) : ١٤٧ ، ويبين هذا الجدول أن انبعاثات ثانى أوكسيد الكبريت قد زادت فى الولايات المتحدة زيادة حادة من ١٩٤٠ إلى ١٩٧٣ ، ووصلت إلى ذروتها ، نحو ٢٨,٧ مليون طن مترى فى العام ، ثم انخفضت إلى ٢١,٤ مليون طن مترى فى ١٩٨٤ . أما انبعاثات أوكسيد النيتروجين فقد زادت بنسبة ١٩٠ فى المائة بين ١٩٤٠ و ١٩٨٤ ، وحتى فى العقد الأخير ، بعد وضع ضوابط على عادم كثير من السيارات ، فهى إما استمرت على نفس المستوى أو زادت ببطء .

٨ ـ يمكن الحصول على تقرير مبكر ودقيق عن مساهمة البشر فى إطلاق الكبريت فى الهواء وفى المحيطات ، بالمقارنة بالمصادر الطبيعية فى مؤلف و . و . كيلوج ، ر . د . كادل ، إ . ر . ألين ، أ . ل . لازروس ، إ . أ .مارتل ، « دورة الكبريت » ، **العلم** ١٧٥ (١٩٧٢) : ٥٧٨ ـ ٥٩٦ . وقد استنتج هؤلاء الكتاب أن الأنشطة البشرية كانت تسهم بنحو نصف ما تسهم به الطبيعة فى الحمل الكلى لمركبات الكبريت فى الغلاف الجوى ، وأنه بحلول سنة ٢٠٠٠ « ستسهم هذه الأنشطة بنفس المقدار » . وهم يشيرون إلى أن تقديرهم غير مؤكد ، لأنه لا يعرف إلا القليل عن المصادر الطبيعية المختلفة .

وهناك دراسات أحدث مثل دراسة ماينرات أ . أندريا ، وهانز ريمدونك ، « كبريتيد ثنائى الميثيل فى سطح المحيط والغلاف الجوى البحرى : نظرة عالمية » ، (**العلم** ٢٢١ [١٩٨٣] : ٧٤٤ ـ ٧٤٧) ، و م . ف . ايفانوف « الدورة البيولوجية الكيميائية العالمية للكبريت (فى **بعض أنواع منظورات الدورات الكبرى البيولوجية الكيميائية** ، المحرر ج . إ . لايكنز ، تقرير سكوب ١٧ [نيويورك ، وايلى آند صنز ، ١٩٨١]) ، وهى تظهر تقدما كبيرا فى قياسات كيمياء كبريت المحيط

ومصادر الكبريت ، ولكن الأعداد الكلية مازالت تحوم حول المساواة تقريبا بين المساهمات الطبيعية والمساهمات البشرية بالنسبة لانبعاثات الكبريت الغازية إلى الغلاف الجوى .

٩ ـ قياسات الرصاص فى جليد جرينلاند أخذت من الرسم البيانى فى مؤلف م . موروزومى ، ت . ج . تشو ، س . باترسون « التركيزات الكيميائية لملوثات ايروسول الرصاص ، والغبار الأرضى وأملاح البحر فى طبقات ثلج جرينلاند والمنطقة القطبية الجنوبية » ، **جيوشميكا وكوزموشميكا أكتا** ، ٣٣ (١٩٦٩) : ١٢٤٧ ـ ١٢٩٤ . ويُظهر هذا التقرير بوضوح زيادة كبيرة فى كمية الرصاص المتساقط على جرينلاند . ويصف كذلك مدى صعوبة هذه القياسات . ويعلق المؤلفون بأن « الجليد القطبى شديد النقاوة وتتساوى نقاوته تقريبا مع أنقى مياه المعامل » . وكان من الضرورى أخذ عينات كبيرة من الجليد لقياس هذه الكميات الصغيرة من الرصاص ، مع العناية الفائقة فى نفس الوقت بمنع تلوث العينات ، ذلك أن شعرة واحدة من رأس أحد العمال الذى سبق له قيادة مركبة تدار بالبنزين المرصص ، أو الذى تناول مشروبا غازيا من علبة جرى لحامها بسبيكة اللحام ، تحتوى على تلوث بالرصاص أكثر مما تحويه مئات الأرطال من عينة الجليد .

١٠ ـ قياسات الكبريتات فى جرينلاند وردت فى مؤلف م . م . هيرون ، « مصادر شوائب أيونات الفلور والكلور والنيترات والكبريتات فى تساقطات جرينلاند والمنطقة القطبية الجنوبية » ، **مجلة البحوث الجيوفيزيائية** ٨٧ ، رقم C4 (١٩٨٢) : ٣٠٥٢ ـ ٣٠٦٠ .

١١ ـ يوجد ملخص حديث عما نعرفه عن تأثير الأمطار الحمضية على الأنظمة الايكولوجية الأرضية فى مؤلف د . و . شيندلر ، « تأثيرات الأمطار الحمضية على الأنظمة الأيكولوجية للمياه العذبة » ، **العلم** ٢٣٩ (١٩٨٨) : ١٤٩ ـ ١٥٦ ، ومؤلف جيمس ج . ماكنزى ، ومحمد ت . العشرى ، « **الرياح الضارة : وقع التلوث المحمول بالهواء على الأشجار والمحاصيل** » ، (واشنطن العاصمة : معهد الموارد العالمية ، ١٩٨٨) .

الفصل الثالث : أوزون الاستراتوسفير

١٢ ـ تثير العلاقة بين الأوزون والحياة ، سؤالا علميا لم تتحدد إجابته بعد بطريقة مرضية : أيهما جاء أولا ، الأوزون أم الحياة ؟ والأوزون صورة من صور الأوكسجين ـ به ثلاث ذرات فى الجزىء بدلا من ذرتين كما هو معتاد ـ وقد وضعت النباتات الأوكسجين فى الهواء فى أثناء عملية التخليق الضوئى . ولكن كيف استطاعت النباتات بدون وجود الأوزون الذى يحميها من الأشعة فوق البنفسجية القوية ، أن تنتشر بشكل يكفى للإمداد بالأوكسجين المطلوب ؟ وبدون هذه النباتات ، كيف كان الغلاف الجوى العلوى يستطيع أن يحصل على ما يكفى من الأوكسجين لصنع الأوزون ؟

ويثار سؤال مماثل عند محاولتنا تخيل التغيرات التى كان لابد وأن تحدث عندما بدأت عملية التخليق الضوئى تأخذ مجراها بشكل كبير . فالأوكسجين يمثل نفاية عملية التخليق الضوئى ، ولكن حتى ذلك الوقت لم يكن على الكائنات الحية أن تتعامل مع هذه المادة الكيميائية . والأوكسجين حاليا شىء معتاد وضرورى ، ولكنه فى الحقيقة مادة أكالة نشيطة ، تسبب صدأ الحديد ، وتؤدى إلى قصر الألوان ، وتعطن المادة البيولوجية . ولم تكن الحياة النباتية الأولى قد طورت الأساليب التقنية التى طورتها أشكال الحياة الحديثة لإلغاء الآثار الضارة للأوكسجين ، وبمعنى آخر كان الأوكسجين غازا ساما فى ذلك الوقت . ومن ثم كيف أمكن حدوث هذا الانتقال ؟

والإجابة عن هذين السؤالين ربما تكمن فى الحماية التى توفرها المحيطات ، وفى الوقت الطويل جدا الذى تطلبه هذا الانتقال ، وفى التنوع الكبير فى أشكال الحياة الذى يبدو أنه كان قائما ، ومن هذا التنوع وجود بعض أشكال الحياة لها قدرة أكبر على مقاومة الضوء فوق البنفسجى أو فعل الأوكسجين الأكال أكثر من غيرها .

١٣ ـ لم يبدأ القلق حول استنفاد طبقة الأوزون مع إدراك أن الكلور الناتج من مركبات CFC ، يمكن أن يحفز تدمير الأوزون . فقبل ذلك بعدة سنوات ، أثار العلماء أن أكاسيد النيتروجين الخارجة من عادم الطائرات التى تطير على ارتفاعات عالية ـ وبخاصة أنواع الطائرات الأسرع من الصوت ـ يمكن أن تضع الكيماويات فى الارتفاع المناسب لإحداث الدمار . وتلت هذه الواقعة دراسات استهدفت تحديد ما إذا كان جزء من الكلور الموجود بالوقود المستعمل لإطلاق مكوك الفضاء

الأمريكى ، قد يتبقى فى طبقة الأوزون ويتسبب فى إحداث دمار غير مقبول . وقد غطت على هذه الاهتمامات بعد ذلك ، الاهتمامات بمركبات CFC التى تنتج بكميات أكبر من كل ما يخرج من عادم الطائرات الأسرع من الصوت أو من مكوك الفضاء . ويوجد تقرير مثير عن هذه الوقائع الثلاث فى مؤلف ليديا دوتو و هارولد شيف ، « **حرب الأوزون** » (جاردن سيتى ، نيويورك : دبلداى ، ١٩٧٨) . ويمكن الحصول على تقرير أحدث فى مؤلف جون جريبون ، « **الثقب الذى فى السماء** » (نيويورك : كتب بانتام ، ١٩٨٨) .

١٤ ـ المنحنيات التى تبين تركيزات CFC-11 و CFC-12 ، تم تحضيرها من المعلومات المنشورة فى مؤلف المنظمة العالمية للأرصاد الجوية ، « **أوزون الغلاف الجوى ١٩٨٥** » ، تقرير ١٦ لبحوث أوزون الكرة الأرضية ومشروع الرصد ، المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (جنيف : المنظمة العالمية للأرصاد الجوية ، ١٩٨٥) ، ٥٩ ـ ٦٣ ، وتم تحديثه خلال ١٩٨٧ بالبيانات التى قدمها مشكورا رون برين من معهد ماساشوستس التكنولوجى .

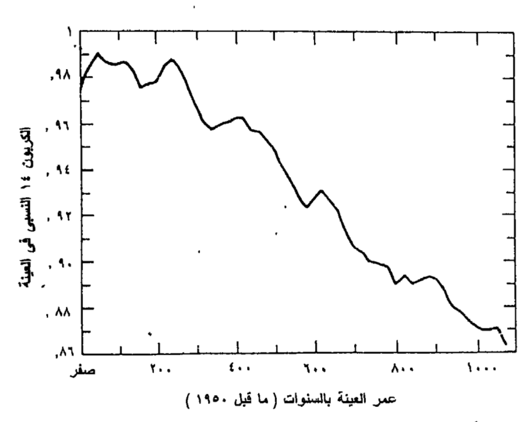
١٥ ـ قدم المنحنيات الكلية للأوزون فى آروزا بسويسرا ، باحث رائد فى دراسات الأوزون فى مؤلف هانز ى. داتش ، « توزيع الأوزون الرأسى فوق آروزا » ، تقرير تقنى ، المركز الوطنى لبحوث الغلاف الجوى ، بولدر ، كولورادو ١٩٦٤ .

١٦ ـ يرد ملخص للتأثيرات البيولوجية لنقص الأوزون فى مؤلف جيمس ج . تيتوس ، المحرر ، « **تأثير التغيرات فى أوزون الغلاف الجوى والمناخ العالمى** » جزء ٢ (برنامج الأمم المتحدة للبيئة والوكالة الأمريكية لحماية البيئة ، ١٩٨٦) .

١٧ ـ تأتى تقديرات تأثير المعاهدة الخاصة بتحديد إنتاج مركبات CFC ، والهالوجين واستهلاكها من ورقة لأعضاء برنامج المحيطات والبيئة التابع لمكتب تقييم التكنولوجيا بالولايات المتحدة ، وعنوانها « تحليل بروتوكول مونتريال الخاص بالمواد التى تستنفد طبقة الأوزون » والمؤرخة ١ فبراير ، ١٩٨٨ .

١٨ ـ يعرض مؤلف و . ليبى ، « **التأريخ بالكربون المشع** » ، الطبعة الثانية (شيكاغو : مطبعة جامعة شيكاغو ، ١٩٥٥) منحنى معايرة ، مثل المذكور فى شكل ٧ . وقد تم حساب المنحنى من عمر النصف للكربون ١٤ ، كما قيس فى المعمل . ويبين « ليبى » أن المنحنى يتفق بشكل معقول مع قليل من العينات الأثرية معروفة التاريخ ، مثل عرق خشبى مأخوذ من مقبرة الوزير حماكا فى مصر ، ولفافات البحر الميت .

١٩ ـ جاء وصف اكتشاف النقص فى الكربون ١٤ فى الخشب الحديث ، فى مؤلف هـ . إ . سويس ، « تركيز الكربون المشع فى الخشب الحديث » ، **العلم** ١٢٢ (١٩٥٤) : ٤١٥ ـ ٤١٧ . وشكل ٨ ما هو إلا رسم بيانى وضعته لأبين ما ظن



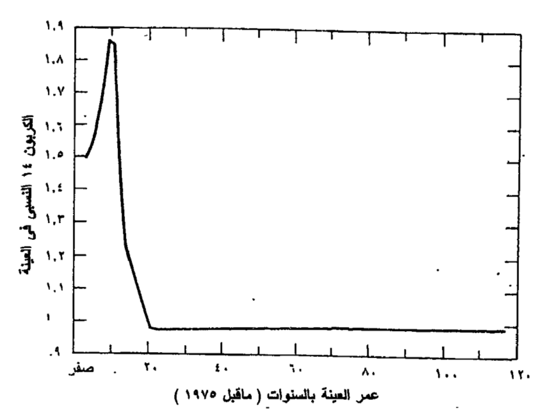
شكل (١٥) : منحنى المعايرة لتأريخ الكربون المشع مقاسا من محتوى الكربون ١٤ فى حلقات أشجار معروفة العمر نمت قبل ١٩٥٠.

سويس أنه واقع الحال . وفى السنوات التى تلت ١٩٥٤ ، وضح سويس وآخرون أن منحنى المعايرة الفعلى كان أكثر تعقيدا كما يبدو من شكل (ن١) . وقد بدأ بعض المؤلفين يطلقون على الحيود عن الشكل البسيط اسم « تذبذبات سويس » ، وهذا النوع من منحنى المعايرة يتم تعيينه اليوم بقياس الكربون ١٤ فى الخشب من حلقات الأشجار معروفة العمر ، ومقارنة النتائج مع العمر المحسوب من منحنى المعايرة البسيط . ولكن حقيقة أن هذه « التذبذبات » تصل إلى نحو نصف مقدار الانحدار الحديث ، تجعل قصة اكتشاف تأثير سويس أكثر أهمية ، ولو أنه كان قد عثر على حلقات أشجار من ١٦٠٠ إلى ١٧٠٠ مثلا ، لواجه صعوبة أكبر فى الوصول إلى استنتاجاته . والبيانات المستعملة فى شكل (ن١) ، استخرجت من **الكربون المشع** ٢٨ ، رقم ٢ ب (١٩٨٦) ، واعتبار أن التذبذبات عبارة عن تأثير حقيقى جاء وصفه فى مؤلف هـ . إ . سويس « جيوفيزياء الكربون المشع » ، **إنديفر** ، رقم ٤ (١٩٨٠) : ١١٣ - ١١٧ .

٢٠ - العبارة المأثورة المشهورة « التجربة الجيوفيزيائية الواسعة المدى » مأخوذة من مؤلف روجر ريفيل وهانز إ . سويس ، « قضية الزيادة فى ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى » ، **تيلاس** ٩ (١٩٥٧) : ١٨ - ٢٧ .

٢١ - مضى أكثر من ثلاثين عاما منذ النمو النهائى للعينات التى استعملها سويس لاكتشافه ، وفى خلال هذا الوقت ، أحرق الناس وقودا أحفوريا أكثر مما تم إحراقه فى القرون الماضية ، فهل زاد تأثير سويس بسرعة ؟ لقد حدث ذلك حقا ، وربما اختفى التأثير مؤقتا تحت فيضان الزيادة فى الكربون ١٤ التى وضعت فى الغلاف الجوى بتجارب الأسلحة النووية التى أجريت فوق سطح الأرض خلال الخمسينيات والستينيات، كما يبدو فى شكل (ن٢) ، (البيانات مستقاة من مقالات متنوعة فى مجلة **الكربون المشع**) . وبدلا من التذبذب بنسبة مئوية واحدة أو اثنتين من منحنى المعايرة البسيط ، كما فى حالة تأثير سويس ، تدل هذه القياسات على تغيرات قيمتها ١٠٠ فى المائة تقريبا . ويبدو أن الكربون ١٤ ، كدليل على العمر ، سيصبح أقل أهمية ، وتزيد أهميته كسجل للقدرة الصناعية والعسكرية للجنس البشرى .

٢٢ - أجريت قياسات تركيزات ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى المبينة فى شكل ٩ ، بواسطة س . ديفيد كيلنج من معهد سكريبس لعلم المحيطات ، لايولا ،



شكل (ن٢) : مثل شكل (ن١) ، فيما عدا المادة التى نمت حتى ١٩٧٥ تقريبا . ويبين جزء المنحنى الذى يقع من ١٢٠ إلى ٢٠ سنة قبل ١٩٧٥ ، نفس الميل للانخفاض البسيط لتأثير سويس كما فى شكل (ن١) ؛ وتبين السنوات الأكثر حداثة ، كمية الكربون ١٤ الكبيرة التى وضعت فى الهواء بتجارب القنابل النووية فى الغلاف الجوى .

كاليفورنيا ، والبيانات محفوظة فى مركز معلومات ثانى أوكسيد الكربون ، معامل أوك ريدج الأهلية ، أوك ريدج ، تنيسى .

٢٣ ـ قياسات قلب الجليد لثانى أوكسيد الكربون ، أخذت من البيانات المذكورة فى هـ . فريدلى ومعاونيه ، « سجل قلب الجليد للنسبة بين الكربون ١٣ إلى الكربون ١٢ (^{13}C / ^{12}C) فى ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى خلال القرنين الماضيين » **نيتشر** ٣٢٤ (١٩٨٦) : ٢٣٧ ـ ٢٣٨ .

٢٤ ـ الفكرة الخاصة بأن إحراق الوقود الأحفورى يمكن أن يسخن المناخ ، تعزى عادة إلى سفانت أرهينيوس ، وهو عالم سويدى كان نشيطا فى مطلع هذا القرن . وقد أرجع أرهينيوس الفضل فى كتابه « **العوالم فى أثناء تكوينها** » ، ترجمة هـ . بورنز (نيويورك ولندن : هاربر آند برززر ، ١٩٠٨) ، إلى « عالم الفيزياء

الفرنسي العظيم فورييه « لفكرته فى أن الغلاف الجوى قد يحتبس الحرارة . وقد فطن أرهينيوس إلى أن كمية الفحم المستعملة حتى فى نهاية القرن التاسع عشر ، كانت كبيرة بما يكفى لإحداث أثر ملموس فى تركيز ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى . وقد سعى إلى تقدير كمية التسخين الناتجة من مضاعفة ثانى أوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ، وكانت تقديراته فى حدود النتائج الحديثة لحسابات النماذج ١,٥° إلى ٥,٥°م .

٢٥ ـ القياسات المباشرة للميثان فى الهواء ، المبينة فى شكل ١١ ، أخذت من مؤلف ر . أ .راسموسين و م . أ . ك . خليل « الميثان الجوى في الأغلفة الجوية الحديثة والقديمة : التركيزات ، والاتجاهات ، والمكون بين نصفى الكرة » ، **مجلة البحوث الجيوفيزيائية** ، ٨٩ ، د ٧ (١٩٨٤) : ١١٥٩٩ ـ ١١٦٠٥ ؛ و د . ر . بليك و ف .س . رولند « الزيادة فى ميثان التروبوسفير على النطاق العالمى ، ١٩٧٨ ـ ١٩٨٣ »، **مجلة كيمياء الغلاف الجوى** ٤ ، (١٩٨٦) : ٤٣ ـ ٦٢ .

وقياسات قلب الجليد للميثان المستعملة فى شكل ١١ ، مذكورة فى مؤلف ب . شتاوفر ، و ج . فيشر ، و أ . نفتل ، و هـ . أوشجر ، « الزيادة فى ميثان الغلاف الجوى المسجلة فى جليد القطب الجنوبى » **العلم** ٢٢٩ (١٩٨٥) : ١٣٨٦ ـ ١٣٨٧ .

٢٦ ـ هناك وصف للكيفية التى تبنى بها نماذج المناخ ، مذكور فى مؤلف و . م . واشنطن ، و س . ل . باركنسون ، « **مقدمة لنماذج المناخ ثلاثية الأبعاد** » (ميل فالى ، كاليفورنيا : كتب الجامعة العلمية ، ١٩٨٦) .

٢٧ ـ أشرت إلى عدة مراجع عن بخار الماء باعتباره غازا محتبسا للأشعة تحت الحمراء قويا ، ولكنى لم أعلق على كيفية تغير تركيزه فى الغلاف الجوى . ولا يبقى الماء طويلا فى الهواء ، فعندما ترتفع الرطوبة النسبية فوق نقطة معينة ، فعادة ما يسقط المطر . ومن ثم تحاول أغلب النماذج أن تحاكى كمية بخار الماء الموجودة بالهواء كما تتحكم فيها درجة حرارة الهواء ، وبالتالى ، كما تتحكم فيها الغازات المحتبسة للحرارة طويلة العمر . وهكذا فإن بخار الماء يظهر على هيئة تغذية مرتدة موجبة فى حسابات المناخ ، فإذا زادت سخونة الجو ، فإن الهواء يستطيع أن يحمل مزيدا من بخار الماء مما يجعل الهواء أكثر سخونة . وقد عرفت عملية التغذية المرتدة هذه منذ وقت مبكر ، وأدخلها أرهينيوس فى حساباته .

٢٨ ـ تراجع مجموعات من العلماء الذين يلتقون لدراسة التقدم منذ آخر مراجعة ، موضوع تسخين الهواء دوريا ، ويكتبون تقارير عن نتائجهم . وآخر تقرير دولى ، وهو أكثرها شمولا من عدة نواح ، هو التقرير الصادر عام ١٩٨٥ عن اجتماع فيلاش ، الذى سمى باسم القرية التى عقد فيها الاجتماع فى النمسا . انظر مؤلف بيرت بولين ، وبو ر . دوس ، وجيل ييجر ، وريتشارد أ . وارويك ، « **تأثير الصوبة ، التغير المناخى والأنظمة الأيكولوجية** » تقرير سكوب ٢٩ (تشستر : وايلى آند صنز ، ١٩٨٦) .

٢٩ ـ يرد الاستعراض الشامل عن مستوى الاتفاق بين نماذج تسخين المناخ ومدى زيادة درجات الحرارة المحتمل ، إذا تضاعف ثانى أوكسيد الكربون ، فى أحد فصول تقرير فيلاش عام ١٩٨٥ ؛ انظر ر . إ . ديكنسون ، « كيف سيتغير المناخ ؟ » ، الفصل الخامس فى مؤلف « **تأثير الصوبة ، التغير المناخى ، والأنظمة الأيكولوجية** » ، المحرر ب . بولين وآخرون (تشستر : وايلى آند صنز ، ١٩٨٦) .

٣٠ ـ يراجع تغير المناخ دوريا فى الولايات المتحدة بواسطة لجان أكاديمية العلوم القومية . والتقرير الذى نناقشه هنا هو « **المناخ المتغير : تقرير لجنة ثانى أوكسيد الكربون** » (واشنطن العاصمة ، مطبعة الأكاديمية الأهلية ، ١٩٨٣) .

٣١ ـ جيل ييجر ، « **وضع سياسات للاستجابة لتغير المناخ** » المنظمة العالمية للأرصاد الجوية رقم ٢٢٥ (جنيف ونيروبى : المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة ، ١٩٨٧) .

٣٢ ـ قياسات درجات الحرارة فى سانت لويس ، دنفر ، كولمبوس ، وبالما ، مأخوذة من سجلات البيانات الخاصة بالمركز القومى لبحوث الغلاف الجوى ، بولدر ، كولورادو .

٣٣ ـ تمثل قياسات بالما ، منطقة جغرافية أصغر مما تمثله ملاحظات سانت لويس . ولا تظهر بعض المواقع فى إيطاليا وفى اليونان ، الهبوط الكبير فى درجات الحرارة فى الثلاثينيات .

٣٤ ـ درجات حرارة السطح فى نصفى الكرة الشمالى والجنوبى ، منذ ١٨٦٠ ، مأخوذة من ب . د . جونز ، وت . م . ل . ويجلى ، وب .ب . رايت ، « تغير

درجة حرارة الأرض بين ١٨٦١ ، ١٩٨٤ » ، **نيتشر** ٣٢٢ (١٩٨٦) : ٤٣٠ - ٤٣٢ .

٣٥ - البيانات المستعملة لرسم منحنى درجات الحرارة خلال الألف سنة الماضية ، مأخوذة من هـ . هـ . لامب ، « **المناخ الحاضر والماضى والمستقبل** » ، جزء ٢ (لندن : ميثوين ، ١٩٧٧) ، ٥٦٤ ، ومن ف . س . لامارش الصغير ، « الأدلة المستمدة من حلقات الأشجار وتغيرات المناخ الماضية » ، **نيتشر** ٢٧٦ (١٩٧٨) : ٣٣٤ - ٣٣٨ .

٣٦ - يرد موجز للأدلة على قيام وسقوط المستوطنات النرويجية فى جرينلاند ، فى ت . هـ . ماكجفرن ، « اقتصاديات الانقراض فى جرينلاند النرويجية » فى مؤلف « **المناخ والتاريخ** » ، المحرر ت . م . ل . ويجلى (كامبريدج : مطبعة جامعة كامبريدج ، ١٩٨١) .

٣٧ - كان المؤرخ المتشكك هو امانويل ليروى لادورى ، « **أزمان الوفرة وأزمان المجاعة : تاريخ المناخ منذ عام ١٠٠٠** » (جاردن سيتى ، نيويورك : دبلداى ، ١٩٧١) .

٣٨ - سجل السبعة عشر ألف عام مأخوذ من بيانات س . لوريوس ، ول . مرليفات ، وج . جوزيل ، وم . بورشت ، « السجل المناخى للنظائر خلال ٣٠٠٠٠ عام من جليد القطب الجنوبى » ، **نيتشر** ٢٨٠ (١٩٧٩) : ٦٤٤ - ٦٤٨ ، وس . ج . جونسون ، وو . دانسجارد ، وهـ . ب . كلاوسن ، و س . س . لانجواى ، « ملامح نظائر الأوكسجين ، خلال طبقات الجليد فى القطب الجنوبى وجرينلاند » ، **نيتشر** ٢٣٥ (١٩٧٢) : ٤٢٩ - ٤٣٥ .

٣٩ - تم وصف هجرة الغابات عند تراجع آخر طبقات الجليد فى ج . س . برنابو ، و ت . ويب الثالث ، « الأنماط المتغيرة فى سجل حبوب لقاح الهولوسين فى شمال شرق أمريكا الشمالية : موجز تخطيطى » ، **كوارترنرى ريسيرتش** ٨ (١٩٧٧) : ٦٤ - ٩٦ .

٤٠ - يرد استعراض لتقديرات الفاقد المحتمل فى الأراضى الرطبة الساحلية فى العقود القادمة فى ج .ج . تيتوس ، « أسباب ارتفاع مستوى سطح البحر وتأثيراته » ،

فى مؤلف « **تأثيرات التغير فى أوزون الاستراتوسفير ، والمناخ على مستوى الأرض** » ، مجلد ١ ، المحرر ج .ج . تيتوس (وكالة حماية البيئة الأمريكية ، ١٩٨٦) : ٢١٩ ـ ٢٤٨.

الفصل الخامس : ولكن هل هذا صحيح ؟

٤١ ـ قدم الدكتور وارن واشنطن من المركز القومى لبحوث الغلاف الجوى ، الشكل (٢٠) . ومحاكاة النموذج المستعملة لتكوين الجزء الأيسر من الخريطة مأخوذة من إ . ج . بيتشر ، و ر .س . مالون ، وف . راماناثان ، وم .ل .بلاكمون ، و ك . بورى ، وو . بورك ، « محاكاة يناير ويوليو ونموذج دورى عام طيفى » ، **مجلة علم الغلاف الجوى** ٤٠ (١٩٨٣) : ٥٨٠ ـ ٦٠٤ . والنموذج المستعمل لهذه الحسابات كان نموذج مناخ المجتمع ، للمركز القومى لبحوث الغلاف الجوى ، « نمط و » ، وموجز البيانات المستعمل لبناء الجزء الأيمن من شكل ٢٠ مأخوذ من س . شوتز ، وو .ل . جيتس ، « بيانات مناخ السطح على مستوى الكرة الأرضية ، ٨٠٠ مللبيار ، ٤٠٠ مللبيار : يناير » ، تقرير ر ـ ٩١٥ ـ **ARPA** (سانتا مونيكا ، كاليفورنيا : راند كوربوريشن ، ١٩٧١) ، وس . شوتز ، وو .ل . جيتس ، « بيانات مناخ السطح على مستوى الكرة الأرضية ، ٨٠٠ مللبيار ، ٤٠٠ مللبيار : يوليو » ، تقرير ر ـ ١٠٢٩ ـ **ARPA**(سانتا مونيكا ، كاليفورنيا : راند كوربوريشن ، ١٩٧٢) .

٤٢ ـ ورد وصف مقارنات المناخ الفعلى منذ تراجع العصر الجليدى الأخير ، كما أعيد بناؤها من بيانات بديلة ، مع مناخ النماذج ، فى مؤلف كوماب ممبرز « التغيرات المناخية خلال ال ١٨٠٠٠ سنة الأخيرة : الملاحظات ومحاكات النماذج » ، **العلم** ٢٤١ (١٩٨٨) : ١٠٤٣ ـ ١٠٥٢ .

وقد أدت اختبارات النماذج ، فى بعض الأحيان ، إلى نتائج غير متوقعة . ومن المعروف جيدا أنه منذ نحو ستين مليون سنة مضت ، عندما كانت الديناصورات تتجول على سطح الأرض ، وكان الفحم فى مرحلة التكوين ، كان المناخ أكثر دفئا مما هو عليه الآن . وقد تم كذلك استنتاج أن القارات قد حدثت لها إزاحة فوق سطح الأرض ، ويمكن تعيين موقعها خلال هذا العصر الطباشيرى . وقد اعتبر واضعو النماذج أن هذا الموقف يعتبر بداية جيدة للتساؤل التالى : هل يجعل وضع القارات ،

كما أعيد بناؤه فى العصر الطباشيرى ، المناخ دافئا بالقدر الذى توضحه الأدلة الأحفورية ؟ وقد استند هذا التساؤل على معرفة أن المحيطات تمثل جزءا هاما من نظام المناخ ، وأنه باختلاف هيئة القارات ، فإن مسار تيارات المحيط سيكون مختلفا كلية . ويعتمد ذلك أيضا على اكتشاف تم فى وسط آسيا لإحدى حفريات العصر الطباشيرى التى لم تستطع أن تتحمل الجو شديد البرودة ، مما يوضح أن الغلاف الجوى كان فى ذلك الوقت أكثر دفئا مما هو عليه الآن .

وقد وضع نموذج مناخى متقدم على أساس الوضع الجديد للقارات والمناخ المحسوب ؛ انظر إ . ج . بارون ، « نماذج المناخ : تطبيق على ما قبل البلايستوسين [*] » ، فى « **تحليل ووضع نماذج المناخ القديم** » ، المحرر أ . د . هشت . (نيويورك : وايلى آند صنز ، ١٩٨٥) . وكانت الاجابة هى أن المناخ كان أكثر دفئا ، ولكن مع بقاء الصقيع فى وسط آسيا . وقد قدمت عدة أفكار لشرح هذا الخلاف . فربما كان الغلاف الجوى محتويا فى ذلك الوقت على كثير من ثانى أوكسيد الكربون ، وأدى الاحتباس الإضافى للأشعة تحت الحمراء إلى هذا الدفء الزائد ، انظر إ . ج . بارون ، وو .و .واشنطن ، « مناخ العصر الطباشيرى الدافىء : ارتفاع ثانى أوكسيد الكربون كآلية مقبولة » فى « **دورة الكربون وثانى أوكسيد الكربون الجوى : الاختلافات الطبيعية من العصر السحيق إلى العصر الحالى** » : المحرران إ . ت . ساندكويست ، وو .س . بروكر (واشنطن العاصمة : الاتحاد الجيوفيزيائى الأمريكى ، ١٩٨٥) .

وقد أشار بعض العلماء إلى أن الحفرية الآسيوية قد أسىء تفسيرها ، وربما كان التعرف على نوع الحفرية قد تم بطريقة صحيحة ، ولكنه تغير بما فيه الكفاية خلال الوقت الطويل منذ العصر الطباشيرى ، وأصبح هذا النوع لا يتحمل الصقيع والجو البارد كما كان يفعل من قبل . ولم يتم حل هذا اللغز حتى الآن ، ولكن المهم أن نلاحظ أن جميع الأسباب المقترحة لعدم الاتفاق بين حسابات النماذج وشواهد الحفرية ، تفترض أن حسابات النماذج يمكن الاعتماد عليها وأن السبب فى التباين لابد وأنه يكمن فى مكان آخر .

(*) البلايستوسين : العصر الحديث الأقرب . (المعرّب)

٤٣ ـ ترد مناقشة كل من الغازات المحتبسة للحرارة على حدة ، ومصادرها ومساربها ، ومعدل تغيرها فى الغلاف الجوى ، فى تقرير المنظمة العالمية للأرصاد الجوية « **أوزون الغلاف الجوى** ، ١٩٨٥ » لمشروع بحوث ورصد أوزون الكرة الأرضية رقم ١٦ (جنيف ١٩٨٥) .

٤٤ ـ بالنسبة لفرض جايا ، انظر ج . إ . لوفلوك ، ول . مرجوليس ، « الميول المتوازنة للغلاف الجوى للأرض » ، **أصول الحياة** ٥ (١٩٧٤) : ٩٣ ـ ١٠٣ .

الفصل السادس : مشكلة واحدة فحسب

٤٥ ـ نشرت الافتتاحية التى أخذنا عنها فى الهيرالد بوسطن فى ٢٦ يوليو ١٩٣٧ ، وأعيد طبعها فى **نشرة جمعية الأرصاد الجوية الأمريكية** ، ١٨ (١٩٣٧) : ٣٧٤ ـ ٣٧٥ .

٤٦ ـ ترد العبارة التى قالها سناتور واتكنز ، ممثل ولاية يوتاه ، لدافيد بروور من نادى سييرا فى تقرير الاستماع س . ١٥٥٥ ، الخاص بمشروع تخزين نهر كولورادو ، أمام اللجنة الفرعية الخاصة بالاستصلاح والرى المنبثقة من لجنة شؤون الداخل والجزر ، الاجتماع ٨٣ للكونجرس ، الانعقاد الثانى ، ٢٨ يونيو ـ ٣ يوليو ، ١٩٥٤ ، صفحة ٥٢٠ .

٤٧ ـ الاقتباس حول السيطرة على المناخ ، مأخوذ من جوناثان واينر ، « **كوكب الأرض** » (نيويورك : كتب بانتام ، ١٩٨٦) .

٤٨ ـ نوقش فشل مشروعات التحكم فى الفيضان ، فى تقليل الدمار الناتج عن الفيضان ، فى مؤلف جلبرت ف . هوايت ، « **تأقلم الإنسان مع الفيضانات** » ، جامعة شيكاغو ، نشرات بحوث قسم الجغرافيا ، رقم ٢٩ (شيكاغو ، ١٩٤٥) ، و جلبرت ف . هوايت ، وويسلى س . كاليف ، وجيمس و .هدسون ، وهارولد م . ماير ، وجون ر .شيفر ، ودونالد ج . فولك ، « **التغيرات فى احتلال الحواضر لسهول الفيضان فى الولايات المتحدة** » ، جامعة شيكاغو ، نشرات بحوث قسم الجغرافيا رقم ٥٧ (شيكاغو ، ١٩٥٨) .

٤٩ ـ ترد دراسة وقع مجهودات الثورة الخضراء فى جزء من المكسيك فى مؤلف ميجويل بارونا ، وجاى دوفال ، ورولاندو جارسيا ، وسوزان سانز ، وفرناندو توديلا ، « **تغيرات المحيط الحيوى وأنظمة الغذاء** » ، (المكسيك ، د . ف.: مركز البحوث والدراسات المتقدمة ، IPN ، ١٩٨٦) .

٥٠ ـ أتوقع أن تكون فكرة أن المأساة تكمن فى أن تلوث الهواء لن يقتلنا ، منتشرة منذ بعض الوقت ، ولكنى لم أستطع أن أتتبع مصدرها .

الفصل السابع : المسار الآخر

٥١ ـ ذكرت قضية التحسينات السريعة فى الاستعمال عالى الكفاءة للطاقة ، فى عدة نشرات علمية ، من بينها جون هـ . جيبونز ، و و . أ . تشاندلر ، « **الطاقة ، ثورة صونها** » (نيويورك : مطبعة بلينم ، ١٩٨١) ؛ وليم أ . تشاندلر ، « **إنتاجية الطاقة : مفتاح لحماية البيئة والتقدم الاقتصادى** » نشرة وورلدواتش ٦٣ (واشنطن العاصمة : معهد وورلدواتش ، ١٩٨٥) ؛ جون أ . بلاكبورن ، « **الطاقة المتجددة البديلة** » (درهام ن . س . : مطبعة جامعة ديوك ، ١٩٨٧) ؛ جوزيه جولدمبرج ، ت . ب . جوهانسون ، أ . ك . ن . ريدى ، ر . هـ . ويليامز ، « **الطاقة من أجل عالم مستدام والطاقة من أجل التنمية** » (واشنطن العاصمة : معهد الموارد العالمية ، ١٩٨٧) .

وهذه الدراسات وغيرها المتعلقة بالموقف فى الولايات المتحدة ، تم تلخيصها وتحويلها إلى توصيات تنفيذية فى مؤلف و . أ .تشاندلر ، هـ .س . جيلر ، م .ر . يدبيتر « **كفاءة الطاقة : جدول أعمال جديد** » (واشنطن العاصمة : المجلس لأمريكى لاقتصاد الطاقة عالية الكفاءة ، ١٩٨٨) .

٥٢ ـ لمناقشة وقع التحرك نحو طاقة أكثر كفاءة على التوظف ، انظر إدارة الطاقة لأمريكية « **خلق الوظائف من خلال سياسة الطاقة** »DOE/PE-OO 13 ، ١٩٧٩ .

٥٣ ـ ترد مناقشة ما إذا كان الوفر فى الطاقة ممكنا فقط فى المجتمعات الغنية ، ى تقرير فريق خبراء الطاقة التابع للجنة الأمم المتحدة للبيئة والتنمية ، « **الطاقة**

سنة ٢٠٠٠ : **استراتيجية دولية للتنمية المستدامة** » (لندن ونيو جيرسى : كتب زد ، ١٩٨٧).

٥٤ ـ يرد المثال الخاص بالاستعمال عالى الكفاءة لمخلفات قصب السكر ، فى مؤلف إ . د . لارسون ، ر . هـ . ويليامز ، « توليد الطاقة بواسطة التوربينات التى تعمل بحقن البخار الناتج عن البيوماس المحول لغاز » ، **مجلة هندسة توربينات الغاز والقوة** ، تحت الطبع .

٥٥ ـ تعتمد مناقشتى لكفاءة الطاقة فى مجملها على تقرير جولدمبرج ومعاونيه (المذكور أعلاه) ، فى الحصول على الأمثلة اللازمة ، وعلى مناقشات أجريت مع وليم تشاندلر تتعلق بإمكانية تحقيق هدف تورنتو بتخفيض ٢٠ فى المائة من انبعاثات ثانى أوكسيد الكربون عام ٢٠٠٥ . والمثال الخاص بتوليد الكهرباء بكفاءة باستعمال عيدان قصب السكر المحولة إلى غاز ، والتوربينات ، يأتى من شهادة روبرت هـ . ويليامز أمام اللجنة الفرعية الخاصة بالعلاقات الخارجية التابعة للجنة مخصصات الكونجرس ، ٢١ فبراير ١٩٨٩ .

٥٦ ـ نوقشت العلاقة بين سياسات الحكومة وتدمير الغابات فى مؤلف روبرت ريبيتو ، « **هل الغابات من أجل الأشجار ؟ سياسات الحكومة والاستعمال السيىء لموارد الغابات** » (واشنطن العاصمة : معهد الموارد العالمية ، ١٩٨٨).

٥٧ ـ الزيادة فى أعداد السكان مأخوذة من « **ورقة بيانات تعداد السكان العالمى ، ١٩٨٨** » ، مكتب مرجع السكان ، واشنطن ، العاصمة ؛ و س . ماكيفيدى ، ر . جونز « **أطلس سكان العالم** » (نيويورك ، كتب بنجوين ، ١٩٧٨) ؛ ومعهد الموارد العالمية ، والمعهد الدولى للبيئة والتنمية ، « **موارد العالم ١٩٨٨ ـ ٨٩** » (نيويورك ، الكتب الأساسية ، ١٩٨٨).

ويتكون لدى الناس انطباع بأن الانفجار السكانى آخذ فى التناقص لأن الأمم المتحدة ومنظمات أخرى ، تنشر تقديرات مستقبلية عن سكان العالم تظهر استقرارهم فى وقت ما فى القرن القادم ، ولأننا نسمع عن انخفاض معدلات المواليد العالمية . وفى الحقيقة فإن المعدل المطلق لنمو سكان العالم ـ وهو عدد الناس الذين يضافون إلى الأرض كل سنة ـ مازال فى ازدياد . ففى خلال الفترة من ١٩٦٥ إلى ١٩٧٠ ،

زاد سكان العالم بمقدار ٥٦ مليون نسمة كل سنة ، ومن ١٩٧٥ إلى ١٩٨٠ ، زادوا بمقدار ٧٥ مليون فى السنة ، وفى عام ١٩٨٧ ، زادوا بمقدار ٨٥ مليون . وقد يؤدى عمل المشتغلين بالاحصاء إلى سوء فهم عندما يعبرون عن النمو السكانى بنسبة مئوية ، ويلاحظون أن النسبة قد انخفضت منذ حوالى ١٩٦٧ . ومما فشلوا فى تأكيده ، هو أن النسبة المئوية تنسب إلى أساس يزداد بنسبة أكبر من انخفاض النسبة المئوية ، وهكذا فإن أعداد الناس التى تضاف كل عام تستمر فى التصاعد .

وتستند التقديرات المستقبلية طويلة الأمد التى وضعتها الأمم المتحدة وآخرون ، والتى تبين ثبات أعداد السكان فى العالم ، إلى أمل أن الزيادة فى النسبة المئوية يمكن أن تقل بسرعة أكبر مما يزداد عدد السكان .

٥٨ ـ انظر ملحوظة رقم ٥٧ أعلاه .

٥٩ ـ الدروس المستفادة الخاصة بتنظيم الأسرة وتثبيت عدد السكان جرى وصفها فى جوديث جيكوبسن ، « **دعم تثبيت السكان : حوافز للأسر الصغيرة** » ، ورقة هيئة وورلدواتش ٥٤ ، (واشنطن العاصمة : معهد وورلدواتش ، ١٩٨٣) ؛ و ميد كين « **وضع المرأة الاجتماعى والخصوبة فى الدول النامية** » ، ورقة عمل هيئة البنك الدولى رقم ٦٨٢ (واشنطن ، العاصمة : البنك الدولى ، ١٩٨٤) ؛ و« **تقرير عن التنمية فى العالم ١٩٨٤** » (واشنطن العاصمة ، البنك الدولى) ؛ ولستر براون ومعاونيه ، « **حالة العالم** » (واشنطن ، العاصمة : معهد وورلدواتش ، ١٩٨٨) .

٦٠ ـ تقديرات الاعتمادات التى تنفق الآن على تنظيم الأسرة فى الدول النامية ، والاعتمادات اللازمة لتوفير خدمات مماثلة على المستوى العالمى ، مأخوذة من مذكرات غير منشورة أعدتها لجنة أزمة السكان (واشنطن ، العاصمة : ١٩٨٩) .

فهرس

(أ)

(ب)

(ت)

(ث)

(ج)

(ح)

(خ)

(د)

(ر)

(س)

(ش)

(ص)

(ط)

(ع)

(غ)

(ن)

(هـ)

(و)

(ى)

رقم الايداع بدار الكتب

٥٨٤٩/ ١٩٩٢
I.S.B.N
977—13—0053—9

مطابع الأهرام التجارية - قليوب

لم يعد الاهتمام بشؤون البيئة ترفاً لا يطيقه غير الأغنياء والمترفين . على النقيض من ذلك ، فإن آثار تدهور البيئة تنزل أشد الكوارث بالفقراء وبلدانهم النامية ، فالقادرون لديهم وسائلهم لتفادى هذه النتائج .

والتحديات الخطيرة التى يواجهها العالم فى هذا الشأن هى التى دفعت لعقد مؤتمر القمة العالمى المعنى بالأرض ، وأخطرها ما يتعلق بتلويث الغلاف الجوى وتدمير مكوناته . والكتاب الحالى يعرض بلغة سهلة ميسورة وعلمية أهم هذه التحديات : استنفاد طبقة الأوزون ، ارتفاع درجة حرارة العالم ، الأمطار الحمضية ، تلوث الهواء بأكاسيد الكبريت والكربون والنيتروجين ، وأثر ذلك المدمر على الإنسان والحيوان والنبات .

والمؤلف هو مدير « برنامج الدراسات المتقدمة » فى المركز القومى لبحوث الغلاف الجوى ، واستشارى فى وكالة الفضاء وأكاديمية العلوم الأمريكية . وكان من قبل رئيساً لصندوق الدفاع عن البيئة ومشرفاً على معهد الموارد العالمية .

الناشـــر

مركز الأهرام للترجمة والنشر
مؤسسة الأهرام

التوزيع فى الداخل والخارج : وكالة الأهرام للتوزيع
ش الجلاء ـ القاهرة

مطابع الأهرام التجارية ـ قليوب ـ مصر